

Pollutions ponctuelles

# ZONES DE REJET VÉGÉTALISÉES EN ADOUR-GARONNE

---

Suivi et évaluation de leur efficacité

**Ce guide a été réalisé avec l'appui d'IRH ingénieur conseil et la contribution d'un comité de pilotage constitué des membres suivants :**

Jean-Philippe Chanseau (Charente eaux 16),

Patricia Bacquey Zanettin (DDT 32),

Eric Boissière (DDT 81),

Caroline Belaubre, Jolanda Boisson et Pauline Giupponi (IRH IC),

Catherine Boutin et Stéphanie Prost-Boucle (IRSTEA),

Christophe Castillan et Alain Merpillat (SATESE 19),

Jean-François Ducom, Catherine Etcheverria et Jérôme Hugonneng (SATESE 40),

Jean-Marc Bec et Jérôme Galinier (SATESE 81),

Patrick Labescau (SYDED 46),

Lauriane Boulp, Jocelyne Di Mare, Guillaume Garin, Marc Rateau et Dominique Tesseyre (AEAG).

L'Agence tient à remercier l'ensemble des acteurs : les membres du comité de pilotage pour leur implication ainsi que les communes de Bascons (40), Caillac (46), Meyssac (19), Mios (33), Montans (81), et Saint-Romain (16) pour la mise à disposition de leur site.

**Ce document a été validé par l'atelier ZRV du groupe national EPNAC\*.**

---

\*Le groupe de travail sur l'Evaluation des Procédés Nouveaux d'Assainissement des petites et moyennes Collectivités (GT – EPNAC) regroupe des experts de différents organismes liés au domaine de l'eau : Ministère en charge de l'Ecologie, Ministère en charge de la Santé, AFB (Agence Française de la Biodiversité), Agences de l'eau, Office International de l'Eau (OIEau), Association Nationale des SATESE (Services départementaux d'Assistance Technique aux Exploitants de Station d'Épuration), Services Départementaux en charge de la Police de l'Eau, et IRSTEA.

# SOMMAIRE

Résumé des conclusions de l'étude .....	11
<b>PARTIE 1 : GÉNÉRALITÉS .....</b>	<b>12</b>
1    Préambule : vocabulaire .....	13
1.1    Définition d'une ZRV .....	13
1.2    Termes utilisés .....	14
2    Contexte .....	15
2.1    Les ZRV, un moyen de réduire la pression domestique sur les masses d'eau ? .....	15
2.2    Présentation de l'étude : « suivi expérimental des ZRV et milieux récepteurs associés » .....	15
2.2.1    Problématique .....	15
2.2.2    Objectifs de l'étude .....	16
2.2.3    Déroulement de l'étude .....	16
2.3    Les ZRV dans le bassin Adour Garonne .....	17
2.3.1    Recensement des ZRV .....	17
2.3.2    Procédé amont .....	18
2.3.3    Aspect technique .....	19
2.3.4    Autres aspects .....	21
2.3.5    Bilan du recensement .....	21
3    Rappels réglementaires .....	22
3.1    Les ZRV dans la réglementation .....	22
3.1.1    Arrêté du 21 juillet 2015 et ses commentaires .....	22
3.1.2    Exigences réglementaires particulières .....	23
3.2    Limites de rejet et performances épuratoires attendues .....	24
3.3    Prescriptions sanitaires relatives à l'utilisation des eaux traitées pour l'irrigation .....	26
3.4    Évaluation de l'état des cours d'eau .....	27
3.5    Normes de qualité des eaux de baignade .....	28
4    Phénomènes en jeu et revue des connaissances .....	29
4.1    L'azote et le phosphore .....	29
4.1.1    La dynamique de l'azote .....	29
4.1.2    La dynamique du phosphore .....	33
4.2    L'abattement bactériologique dans les eaux douces superficielles .....	34
4.3    L'évaporation et évapotranspiration .....	36
4.4    L'infiltration .....	37

PARTIE 2 : ETUDE DE CAS.....	38
5    Matériels et méthodes.....	39
5.1    Choix des sites .....	39
5.2    Protocole de mesure .....	41
5.2.1    Suivi effectué.....	41
5.2.2    Planification et récapitulatif des opérations effectuées .....	42
5.2.3    Matériel utilisé .....	44
5.2.4    Incertitude de mesure et limite de quantification .....	44
5.3    Difficultés rencontrées .....	44
5.3.1    Adaptations du protocole .....	44
5.3.2    Problèmes de suivi récurrents.....	44
5.4    Traitement de la donnée .....	45
5.4.1    Analyse des résultats bruts .....	45
5.4.2    Calculs d'incertitudes et traitement statistique des données.....	46
5.4.3    Analyse des résultats consolidés.....	47
5.5    Quelques calculs spécifiques .....	48
5.5.1    La lame d'eau « perdue » .....	48
5.5.2    L'azote et le phosphore théoriquement exportés par la végétation .....	48
5.5.3    Calcul de l'impact qualitatif du rejet sur le milieu récepteur superficiel .....	49
5.6    Limite de l'étude et de l'interprétation des données .....	50
5.6.1    Suivi en conditions in-situ .....	50
5.6.2    Limite des analyses des eaux du sol (lysimètre et piézomètre).....	50
5.6.3    Limite de l'évaluation de l'impact sur le milieu rivière .....	51
5.6.4    Limite des tests de perméabilité .....	51
6    Résultats du suivi.....	53
6.1    Synthèse du suivi .....	53
6.2    Performance de traitement .....	60
6.2.1    Impact sur les macropolluants .....	60
6.2.2    Abattement bactériologique .....	68
6.2.3    Bilan 24h micropolluants.....	69
6.2.4    Physico-chimie .....	73
6.3    Hydraulique .....	74
6.3.1    Réduction des débits.....	75
6.3.2    Tampon hydraulique, lissage des pointes .....	75
6.4    Perméabilité des sols et infiltration.....	75
6.4.1    Étude de cas .....	76
6.4.2    Leçon à tirer .....	77
6.5    Boues .....	77

6.5.1	Quantité .....	77
6.5.2	Qualité.....	78
6.6	Milieu récepteur .....	79
6.6.1	Eaux superficielles .....	79
6.6.2	Eaux souterraines.....	81
6.7	Faune, flore.....	81
6.8	Entretien, exploitation.....	83
6.8.1	Dysfonctionnements, problèmes récurrents .....	83
6.8.2	Entretien et exploitation .....	86
7	Autres retours de données.....	88
7.1	Entretien des ZRV .....	88
7.1	Coût d'installation d'une ZRV .....	90
7.2	Performances globales des ZRV.....	90
7.2.1	Azote .....	91
7.2.2	DCO - DBO .....	92
7.2.3	MES .....	93
7.2.4	Abattement du phosphore.....	93
7.3	Micropolluants – revue de la littérature scientifique .....	93
7.3.1	Projets AMPERES et ARMISTIQ .....	93
7.3.2	Les micropolluants dans la ZRV .....	94
8	Conclusion sur les performances et les mécanismes identifiés .....	95
8.1	Aspects positifs constatés.....	95
8.1.1	Régulation des débits (lissage hydraulique).....	95
8.1.2	Réduction des volumes .....	95
8.1.3	Abattement complémentaire de l'azote global (NGL) et NH4 .....	96
8.1.4	Abattement bactériologie .....	97
8.2	Fonctions secondaires et leurs limites.....	97
8.2.1	Abattement complémentaire de la DCO et de la DBO .....	97
8.2.2	Abattement complémentaire et limites sur les nitrates et nitrites (NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> ).....	97
8.2.3	Restauration des paramètres pH et température.....	98
8.2.4	Ré-Oxygénéation de l'eau ou anoxie .....	98
8.2.5	Biodiversité / intégration paysagère / social.....	98
8.3	Autres paramètres .....	99
8.3.1	Rendement sur le phosphore (Pt, PO <sub>4</sub> ) .....	99
8.3.2	Rétention MES.....	99
8.3.3	Rétention des départs de boues accidentels .....	100
8.3.4	Récupération des trop-pleins et by-pass.....	100
8.3.5	Un abattement complémentaire sur les micropolluants ? .....	100

8.4	Le rôle des végétaux .....	100
8.5	Contraintes .....	101
8.5.1	Accumulation de boues.....	101
8.5.2	Désordres hydrauliques .....	101
8.5.3	Nuisances, désagrément .....	102
8.5.4	Entretien, exploitation .....	102
9	Conclusion .....	103
10	Pour aller plus loin.....	104
11	Tables des références.....	105
11.1	Documents contractuels.....	105
11.2	Bibliographie.....	106
	ANNEXES.....	108

# LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Classification des ZRV selon le groupe de travail EPNAC – Source : [17].g .....	14
Figure 2: Répartition des ZRV recensées en 2015 sur le bassin Adour-Garonne (18 départements) - Source : [21] .....	17
Figure 3: Nombre de ZRV par département – Source : [21] .....	18
Figure 4 : Répartition des ZRV selon le type de STEU – Source : [21] .....	18
Figure 5: Répartition des ZRV selon la capacité de la STEU (17 données manquantes sur 270) – Source : [21] ..	19
Figure 6: Justification des choix d'implantation des ZRV. (*Amélioration du traitement : concentration en N, P et bactéries) – Source : [21] .....	19
Figure 7: Nombre de ZRV selon la fréquence de rejet en sortie de ZRV – Source : [21].....	20
Figure 8: Types d'ouvrage constituant les ZRV – Source : [21] .....	20
Figure 9: Répartition des ZRV en fonction de l'origine de l'arrivée d'eau – Source : [21].....	20
Figure 10 : Les phénomènes en jeu dans la ZRV .....	29
Figure 11 : Les différentes formes de l'azote .....	30
Figure 12 : Le cycle de l'azote dans la ZRV.....	31
Figure 13 : Le cycle du phosphore dans la ZRV .....	33
Figure 14 : Mécanismes relatifs aux bactéries fécales dans les ZRV .....	36
Figure 15 : Lysimètres et principe de fonctionnement ©SDEC.....	50
Figure 16 : Analyse des rendements sur DCO et DBO, hors NQ.....	62
Figure 17 : DCO -Évolution du rendement sur concentration en fonction de la concentration en entrée ZRV ...	62
Figure 18 : Analyse des rendements sur MES, hors NQ.....	63
Figure 19 : Analyse des rendements sur l'azote, hors NQ .....	63
Figure 20 : Analyse des rendements sur le phosphore, hors NQ.....	66
Figure 21 : Rendement de la ZRV sur les concentrations en Pt en fonction de la concentration entrante .....	67
Figure 22 : Analyse des rendements sur E. Coli, hors NQ .....	68
Figure 23 : Synthèse des rendements sur concentrations relatifs aux métaux et métalloïdes .....	70
Figure 24 : Concentration en plomb et cuivre en entrée et en sortie de ZRV .....	71
Figure 25 : Synthèse des rendements relatifs aux micropolluants organiques quantifiés .....	72
Figure 26 : Exemple de l'impact d'une ZRV sur la pointe de débit.....	75
Figure 27 : Couche de dépôts dans la ZRV de Montans (photo prise lors du curage) .....	77
Figure 28 : Exemple de dynamique faune / flore.....	82
Figure 29 : Flore flottante rencontrée sur les ZRV .....	83
Figure 30 : Résultat d'une accumulation importante de lentilles d'eau en sortie d'un ouvrage.....	84
Figure 31 : Désordres hydrauliques sur les ouvrages de liaison liés à la végétation .....	84
Figure 32 : Analyse des rendements sur le recueil de données complémentaires.....	91
Figure 33 : Analyse des rendements sur l'azote - recueil de données complémentaires.....	91
Figure 34 : Analyse des rendements sur DCO-DBO - recueil de données complémentaires.....	92
Figure 35 : Analyse des rendements sur MES - recueil de données complémentaires .....	93
Figure 36 : Analyse des rendements sur le phosphore - recueil de données complémentaires .....	93
Figure 37 : Résultats obtenus sur les micropolluants. Comparaison avec les résultats des études AMPERES-ARMISTIQ .....	94

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des conclusions de l'étude sur les performances des ZRV .....	11
Tableau 2 : Récapitulatif du suivi 2015 des sites.....	40
Tableau 3 : Opérations effectuées lors des suivis, type et fréquence .....	41
Tableau 4 : Autres paramètres de suivi des ZRV .....	42
Tableau 5 : Synthèse des opérations effectuées par site.....	43
Tableau 6 : Référence du matériel utilisé lors des campagnes.....	44
Tableau 7 : Formules de calcul des incertitudes de rendements consolidés.....	46
Tableau 8 : Limite du test double anneau.....	51
Tableau 9 : Tableau de synthèse des résultats du suivi .....	54
Tableau 10 : Bilan des campagnes de mesure .....	60
Tableau 11 : Distribution des résultats sur les macropolluants (toutes campagnes et tous sites confondus) ....	61
Tableau 12 : Conversion des flux de DBO5 et DCO exportés en EH.....	63
Tableau 13 : Pertes journalières en azote ammoniacal converties en équivalents habitants (EH) .....	64
Tableau 14 : Estimation des prélèvements en azote par les plantes .....	65
Tableau 15 : Comparaison des rendements sur les paramètres azotés selon le type de site et les saisons .....	66
Tableau 16 : Estimation des prélèvements en phosphore par les plantes .....	67
Tableau 17 : Liste des micropolluants recherchés – Substances émergentes .....	69
Tableau 18 : Liste des micropolluants détectés en entrée ou sortie de ZRV .....	69
Tableau 19 : Concentration en métalloïdes comparés aux valeurs de référence .....	72
Tableau 20 : Bilan hydraulique sur les ZRV .....	74
Tableau 21 : Suivi de perméabilité sur les 5 sites .....	76
Tableau 22 : Synthèse des analyses sur les boues de la ZRV .....	78
Tableau 23 : Impact de la ZRV sur l'état du milieu récepteur, par paramètre.....	79
Tableau 24 : Impact de la ZRV sur la classe d'état du milieu récepteur.....	80
Tableau 25 : Espèces rencontrées régulièrement sur les ZRV .....	81
Tableau 26 : Recueil de données complémentaires concernant l'entretien .....	88
Tableau 27 : Volume horaire d'entretien par EH .....	88
Tableau 28 : Interventions d'entretien effectuées sur les ZRV .....	89
Tableau 29 : Volume horaire d'entretien par m <sup>2</sup> .....	90

# Introduction

Depuis 1970, la politique publique de l'eau s'inscrit dans un cadre européen.

C'est ainsi que la Directive 2000/60/CE, dite la Directive Cadre sur l'eau (DCE) du 23 octobre 2000 [A], fixe comme objectif la non détérioration de l'état des milieux aquatiques et l'atteinte du bon état. Ces objectifs environnementaux doivent être atteints à un rythme progressif avec des échéances fixées de 2015 à 2027.

Dans ce contexte, depuis une dizaine d'années de nouveaux aménagements apparaissent en aval des stations d'épuration : **les zones de rejets végétalisées**.

Ces ouvrages sont implantés suite aux préconisations de maîtres d'œuvre, notamment dans le cas de milieux récepteurs sensibles (faible débit d'étiage, amont de bassin versant) quand le traitement traditionnel des eaux usées ne suffit pas à garantir l'absence d'impact sur le cours d'eau.

En 2012, l'agence de l'eau Adour-Garonne constatait que ces ZRV en sortie de STEU étaient en pleine expansion sur le bassin, mais ne disposait ni de retours d'expériences ou de suivis qualitatifs suffisants pour conclure sur l'efficacité de ces dispositifs ni de règles de conception et d'entretien associées.

L'agence a donc souhaité savoir, par le biais de cette étude confiée à IRH Ingénieur Conseil, dans quelles mesures ces ouvrages peuvent contribuer à atteindre les objectifs de bon état de la DCE sur les cours d'eau du bassin.

Ce rapport présente en première partie une synthèse réglementaire et bibliographique sur les zones de rejet végétalisées. La deuxième partie est consacrée à la restitution des résultats des campagnes de mesures réalisées sur cinq sites du bassin et à l'analyse des données et connaissances complémentaires recueillies tout au long de l'étude (2013-2017).

Ce rapport est complété par le document : « Zones de rejet végétalisées en Adour Garonne : recommandations pour la conception et la gestion ». Enfin, les fiches techniques « Zones de rejet végétalisées en Adour-Garonne : guide pratique pour la conception et la gestion » sont une synthèse opérationnelle des livrables de l'étude, à destination de tous les acteurs potentiellement concernés par la mise en place d'une ZRV.

## Liste des abréviations

<b>AEAG:</b>	Agence de l'eau Adour Garonne	<b>NNO3 :</b>	Azote nitrique
<b>COD :</b>	Carbone organique dissous	<b>NQ :</b>	non quantifié
<b>COT :</b>	Carbone organique total	<b>NR :</b>	non renseigné
<b>DBO5 :</b>	Demande biochimique en oxygène à 5 jours	<b>NTK :</b>	Azote Kjeldahl
<b>DCE :</b>	Directive Cadre sur l'eau (directive 2000/60)	<b>LD :</b>	Limite de détection
<b>DCO :</b>	Demande chimique en oxygène	<b>LQ :</b>	Limite de quantification
<b>DDT :</b>	Direction Départementale des Territoires	<b>NQE :</b>	Norme de qualité environnementale
<b>EH :</b>	Équivalent habitant	<b>PCB :</b>	Polychlorobiphényle
<b>EPEC :</b>	Épuration en Eau Courante	<b>pH :</b>	Potentiel hydrogène
<b>EPNAC :</b>	Évaluation des Procédés Nouveaux d'Assainissement des petites et moyennes Collectivités	<b>PPO4 :</b>	Orthophosphates
<b>FPR :</b>	Filtres plantés de roseaux	<b>P total (Pt):</b>	Phosphore total
<b>HAP :</b>	Hydrocarbure aromatique polycyclique	<b>PZ :</b>	Piézomètre
<b>MES :</b>	Matières en suspension	<b>Redox :</b>	Potentiel d'oxydo-réduction
<b>MS :</b>	Matières sèches	<b>SATESE :</b>	Service d'assistance technique aux exploitants de station d'épuration
<b>MVS :</b>	Matières volatiles sèches	<b>STEU :</b>	Station de traitement des eaux usées (anciennement STEP)
<b>NH4 :</b>	Ammonium	<b>ZL :</b>	Zone Libellule®
<b>NNH4 :</b>	Azote ammoniacal	<b>ZRV:</b>	Zone de rejet végétalisée
<b>NNO<sub>2</sub> :</b>	Azote nitreux		
<b>NO<sub>3</sub> :</b>	Nitrates		

## Guide des renvois

---

[A] : Référence bibliographique – Cf. §11.1 Documents contractuels

[1] : Référence bibliographique – Cf. §11.2 Bibliographie

[*déf.*] : Renvoi à une définition – Cf. ANNEXE A1: Définitions

## Résumé des conclusions de l'étude

L'étude menée sur 5 sites en Adour-Garonne, complétée par un recueil de données, a permis de constater un rôle bénéfique des ZRV, notamment grâce à la réduction des volumes rejetés. Mais les résultats ont aussi montré plusieurs contreperformances, et surtout mis en évidence des problèmes récurrents de conception ainsi que la nécessité d'entretenir les zones.

Le tableau suivant synthétise les conclusions de l'étude.

**Tableau 1 : Synthèse des conclusions de l'étude sur les performances des ZRV**

<i>Des performances constatées et des objectifs possibles</i>	<i>Des limites certaines et des contraintes à prendre en compte</i>
<p>Une régulation et une réduction possible des flux rejetés.</p> <p>Un abattement complémentaire de l'azote possible.</p> <p>Un abattement de la bactériologie possible.</p> <p>L'aspect biodiversité, paysage et social est un atout.</p> <p>La ZRV fait office de tampon avec le milieu récepteur : rétention des pollutions accidentielles, restauration des paramètres pH, température, oxygénation ...</p>	<p>Aucune performance garantissable.</p> <p>Des risques de dégrader ponctuellement la qualité de l'eau.</p> <p>Des résultats aléatoires sur le phosphore, liés à la capacité d'infiltration du sol.</p> <p>La ZRV exige exploitation et entretien pour maintenir son bon fonctionnement.</p> <p>Plus le traitement de la STEU est poussé, plus le risque que la ZRV dégrade la qualité du rejet augmente.</p>

La ZRV peut être une réponse pertinente dans certains contextes. Toutefois, les besoins et les contraintes liés au projet doivent être clairement définis, afin de rechercher la conception la plus adaptée.

Grâce à ces conclusions, aux observations faites sur le terrain, à la bibliographie, aux recueils de données complémentaires et aux retours d'expériences, des recommandations pratiques et techniques ont pu être proposées.



# PARTIE 1 :

## GÉNÉRALITÉS

# 1 Préambule : vocabulaire

## 1.1 Définition d'une ZRV

Depuis leur création il y a une dizaine d'années, plusieurs termes ont été utilisés pour définir ce type de zone : **Zone de rejet végétalisée, zone de rejet intermédiaire, zone de dissipation, zone humide artificielle....**

Le terme Zone de Rejet Végétalisée « ZRV » et sa définition ont finalement été entérinés par l'arrêté ministériel du 21/07/2015, relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif [C] :

*« Une zone de rejet végétalisée est un espace aménagé entre la station de traitement des eaux usées et le milieu récepteur superficiel de rejet des eaux usées traitées. Cet aménagement ne fait pas partie du dispositif de traitement des eaux usées mais est inclus dans le périmètre de la station. »*

*Arrêté du 21/07/2015 [C] - Article 2, point 30*

Face à l'engouement pour ce type de dispositif, le groupe de travail « Évaluation des procédés nouveaux d'assainissement des petites et moyennes collectivités (EPNAC) », constitué de l'IRSTEA (ex-Cemagref), de l'ONEMA, des services de l'état (DDT), des conseils départementaux (SATESE), et des agences de l'eau, a intégré ce thème dans ses ateliers et rédigé depuis 2001 plusieurs documents de référence.

La définition d'une Zone de Rejet Végétalisée telle que définie dans l'arrêté ministériel a ainsi été complétée et détaillée :

*« La ZRV est située à l'aval d'une station d'épuration et à l'amont du milieu récepteur superficiel : elle reçoit donc de l'eau usée traitée par une station. Elle peut recevoir les effluents issus du déversoir d'orage en tête de station ou du by-pass après prétraitement, au-delà du débit de référence.*

*Les ZRV peuvent être végétalisées artificiellement ou naturellement, et les végétaux présents peuvent être de toutes tailles, arbres inclus. Bien que certaines ne soient pas végétalisées à la construction, tous ces ouvrages finissent généralement par être colonisés par les végétaux au cours du temps plus ou moins naturellement.*

*EPNAC, Classification des ZRV [17].g*

Il est important de noter que la ZRV ne doit pas être confondue avec d'autres zones :

- **Zone humide** (zonage réglementaire de protection de l'environnement définie par la convention RAMSAR)
- **Zone tampon** (terme générique géographique et appliqué à l'agriculture)
- **Zone d'infiltration** (en sortie de station d'épuration lorsque l'infiltration totale et permanente est le but recherché)

La fiche 14 des commentaires de l'arrêté du 21 juillet 2015 [D] précise la définition de la ZRV :

*Les ZRV ne sont pas des zones humides, des zones tampons ou des dispositifs d'infiltration permanente et totale.*

*L'objectif global des ZRV vise à une atténuation de pression des rejets de la STEU sur les milieux aquatiques récepteurs de surface (réduction de volume ou lissage du débit, stockage temporaire, abattement complémentaire sur des substances, valorisation écologique, etc.). Ainsi, les rôles attendus de ces zones sont variés et rarement quantifiés et difficilement quantifiables.*

*Commentaire technique de l'arrêté du 21 juillet 2015 - Partie 1 [D] - Fiche 14, §4*

L'amalgame est souvent fait entre zone d'infiltration et zone de rejet végétalisée, puisqu'elles sont toutes deux positionnées en sortie de station d'épuration avec des conceptions similaires, et un objectif commun de réduction de volumes.

Dans le cas d'un objectif d'infiltration totale tout au long de l'année des eaux en sortie de STEU, on parlera de zone d'infiltration puisqu'il n'y a plus de notion de milieu récepteur superficiel.

La zone d'infiltration est soumise à une réglementation particulière, détaillée à l'Article 8 de l'Arrêté du 21 juillet 2015 [C] (étude pédologique, hydrogéologique et environnementale, montrant la possibilité et l'acceptabilité de l'infiltration).

## 1.2 Termes utilisés

L'ANNEXE A1 présente le glossaire complet des termes techniques utilisés dans le présent rapport. Le paragraphe ci-dessous renvoie uniquement aux définitions relatives à la ZRV.

« ZRV » : Le terme ZRV s'entend au titre de la définition de l'arrêté du 21 juillet 2015 [C], rappelée au paragraphe 1.1.

« Milieu récepteur » <sup>[def.]</sup> : Dans la suite du document, le terme « milieu récepteur » désigne le premier compartiment qui collecte les eaux issues de la ZRV.

Il peut s'agir :

- Du milieu récepteur superficiel aquatique dans le cas d'un rejet direct (cours d'eau, fossé...),
- Du sol et la masse d'eau souterraine, dans le cas de l'infiltration totale ou partielle de l'effluent traité.

Plusieurs milieux récepteurs peuvent être identifiés par site.

**Typologie des ouvrages** : L'atelier ZRV du groupe national EPNAC a défini une classification des ZRV selon leur configuration. Quatre types de zones ont été définies, comme présentées dans la Figure 1 : prairie ; fossé/noues ; bassin ; ou autres (sol reconstitué). Cette classification est reprise dans le cadre de cette étude.

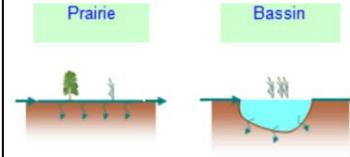
Sol en place (sol remanié ou non)	Sol reconstitué (matériaux rapportés)
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>Prairie</b></p>  <p>Sol relativement plat, sans surcreusement</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>Bassin</b></p>  <p>Sol avec surcreusement, différence de niveau</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>Fossé</b></p>  <p>Longueur très supérieure à la largeur</p> </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;"> <p><b>Autres</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ filtre horizontal,</li> <li>▪ fossé drainant,</li> <li>▪ terre d'infiltration,</li> <li>▪ etc.</li> </ul> <p>Exemples de matériaux : sables, graviers</p> </div> </div>

Figure 1 : Classification des ZRV selon le groupe de travail EPNAC – Source : [17].g

A noter que :

- le terme « roubines » utilisé par le constructeur et/ou le maître d'ouvrage du site de Bascons (40) entre dans la classe « fossé, noues ».
- parmi les sites sélectionnés dans le cadre de la présente étude, il n'y a pas de ZRV de type « prairies ».

## 2 Contexte

### 2.1 Les ZRV, un moyen de réduire la pression domestique sur les masses d'eau ?

Malgré les efforts financiers importants de la part des collectivités et des financeurs publics pour la construction de station d'épuration (STEU), la mise en œuvre de traitements poussés ne permet pas toujours le rejet d'un effluent compatible avec le réseau hydrographique local et peut alors compromettre l'atteinte du bon état des masses d'eau concernées. Ce problème est d'autant plus vrai en période d'étiage où le potentiel de dilution des effluents est faible et où le rejet à lui seul peut suffire à déclasser le cours d'eau.

*La pression domestique est significative sur 22% des masses d'eau rivières ; elle s'exerce sur l'ensemble du bassin et en particulier autour de l'axe Garonne et dans les secteurs les plus peuplés. Sur ces secteurs, la problématique est généralement liée aux rejets domestiques d'ammonium et de phosphore.*

*SDAGE AEAG 2016-2021 [B], §3.2*

Par souci de réduire cette pression *[def.]* domestique, de nouveaux aménagements se sont développés au niveau des stations d'épuration, au titre de mesures correctrices ou compensatoires : **les zones de rejet végétalisées**.

Ces zones artificielles sont des espaces aménagés à l'aval du point de rejet de la station de traitement des eaux usées et à l'amont du milieu récepteur.

Leur finalité est d'atténuer l'impact des eaux traitées sur les milieux récepteurs via l'exploitation des processus physiques, chimiques et biologiques qui ont lieu naturellement au sein d'un écosystème.

Toutefois, les objectifs assignés à ces zones peuvent être divers et concernent de nombreux paramètres :

- hydraulique : réduction immédiate ou différée, lissage ;
- amélioration de la qualité du rejet : MES, phosphore, azote, micropolluants *[def.]*, germes témoins de contamination fécale, etc. ;
- production de biomasse : bois-énergie par exemple ;
- valorisation écologique et aspect paysager.

### 2.2 Présentation de l'étude : « suivi expérimental des ZRV et milieux récepteurs associés »

#### 2.2.1 Problématique

Sans toutefois maîtriser les véritables performances épuratoires de ces systèmes, la création de ZRV s'est généralisée dans les projets de mise en conformité de l'assainissement des petites collectivités. En conséquence, il devient important de lever les incertitudes concernant les objectifs visés et les limites réglementaires afin d'encadrer au mieux la mise en œuvre de ces nouveaux ouvrages. En effet, très peu de mesures sur la qualité des rejets en sortie de ces zones sont effectuées, et les premiers retours d'expérience ne permettent pas de prouver leur réelle efficacité. De plus, l'expérience acquise sur des systèmes extensifs tels que le lagunage naturel ou les filtres plantés de roseaux (FPR) est difficilement transposable à ces aménagements car les ZRV fonctionnent à des charges organiques et hydrauliques très différentes.

Face à la relative nouveauté de ces ouvrages, l'agence de l'eau Adour-Garonne a souhaité savoir dans quelle mesure ces ouvrages peuvent contribuer à atteindre l'objectif de bon état écologique des masses d'eau fixé par la DCE. Si ces ouvrages s'avèrent pertinents, elle souhaite également pouvoir préconiser des règles de conception et d'exploitation permettant d'optimiser leur efficacité.

## 2.2.2 Objectifs de l'étude

Le bureau d'étude IRH Ingénieur Conseil a été mandaté par l'agence de l'eau Adour-Garonne pour la réalisation d'un « Suivi expérimental du fonctionnement des Zones de Rejet Végétalisées et des milieux récepteurs associés ».

Les objectifs initiaux de cette étude étaient les suivants :

- évaluer les différents rôles assignés aux ZRV (rôle épuratoire complémentaire sur macro et micropolluants, lissage des charges hydrauliques, rétention des MES et macrodéchets),
- mettre en évidence et définir les phénomènes prépondérants rencontrés selon les typologies de ZRV, les types de sol, ...
- apprécier l'impact global de ces aménagements sur les cours d'eau concernés, à savoir, diminution de l'impact physique du rejet sur le cours d'eau (berges), valorisation de l'aspect paysager (recréation de zones humides), création de biodiversité (faune, flore),
- préconiser des règles de dimensionnement, de conception, de gestion et de coûts de ces aménagements à l'attention des maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvre.

Suite aux premiers résultats de suivi, vu les particularités de chaque site et la complexité des protocoles nécessaires pour obtenir des résultats scientifiques et généralisables sur les processus en jeu dans les ZRV, IRH et l'Agence de l'Eau ont revu les objectifs de l'étude afin de concentrer les efforts sur des objectifs prioritaires et des recommandations pragmatiques et opérationnelles.

À la suite d'une discussion avec le comité de pilotage, l'étude a été recentrée sur les objectifs suivants :

- Cibler les phénomènes en jeu dans les différents compartiments, en se basant notamment sur la littérature scientifique,
- Mettre en évidence les aspects positifs comme les limites de la ZRV et analyser les contraintes associées,
- Identifier les limites de la méthodologie d'étude, notamment pour évaluer l'impact réel de la ZRV sur le milieu récepteur,
- Intégrer à la réflexion l'aspect biodiversité mais aussi sociologique et paysager,
- Agglomérer les recommandations basées sur les retours d'expériences, les observations terrains et les échanges avec les constructeurs pour en dégager de grandes tendances,
- Établir un document pour guider les maîtres d'ouvrages et tous les acteurs du secteur avec des préconisations différentes en fonction des objectifs visés,
- Bâtir un outil de type grille multicritères, d'aide au choix, en fonction des problématiques et des objectifs, ainsi que de la qualité des eaux entrantes.

## 2.2.3 Déroulement de l'étude

La première phase de l'étude consiste au suivi de 5 sites existants et 1 site en cours de travaux, préalablement sélectionnés pour l'étude. Chaque année pendant 3 ans (2013 à 2015), 3 à 4 campagnes de mesures ont été effectuées afin de suivre l'évolution des sites et d'évaluer leur impact sur la qualité des eaux rejetées et des milieux récepteurs associés.

Un comité de pilotage composé de représentants de l'agence de l'eau, de SATESE, de DDT (service police de l'Eau), de IRSTEA et de IRH s'est réuni une à deux fois par an pour arbitrer le choix et les orientations de l'étude.

## 2.3 Les ZRV dans le bassin Adour Garonne

### 2.3.1 Recensement des ZRV

En 2011, face à la montée croissante du nombre de ZRV sur son bassin, un premier rapport d'état des connaissances de ces dispositifs et une caractérisation du parc a été effectué par IRSTEA dans le cadre du groupe EPNAC [17].d.

Lors de cet état des lieux, environ 75 ZRV ont été répertoriées sur le bassin Adour-Garonne.

En 2015, dans le cadre de la présente étude, IRH a établi un nouveau recensement des ZRV présentes sur le territoire Adour-Garonne.

L'enquête réalisée a été adressée en novembre 2014 à l'ensemble des représentants (SATESE) des départements du bassin Adour-Garonne.

Sur les 18 départements contactés, 14 ont répondu au questionnaire. À la clôture des réceptions, à savoir le 5 février 2015, le taux de réponse global s'élevait à **77,8%**.

**Nota :** Dans le cadre du recueil des données, les zones de rejet dénombrées regroupent sans distinction les ZRV et les aires d'infiltration (l'exploitation du questionnaire n'a pas permis de faire la distinction).

D'après l'enquête, **270 ZRV** ont été recensées sur l'ensemble du territoire.

Parmi les 14 départements ayant répondu au questionnaire, seul le département des Hautes-Pyrénées n'est pas concerné par l'implantation de ZRV.

Grâce à ces réponses, une carte générale représentant la répartition des ZRV sur le bassin a été réalisée (Figure 2).

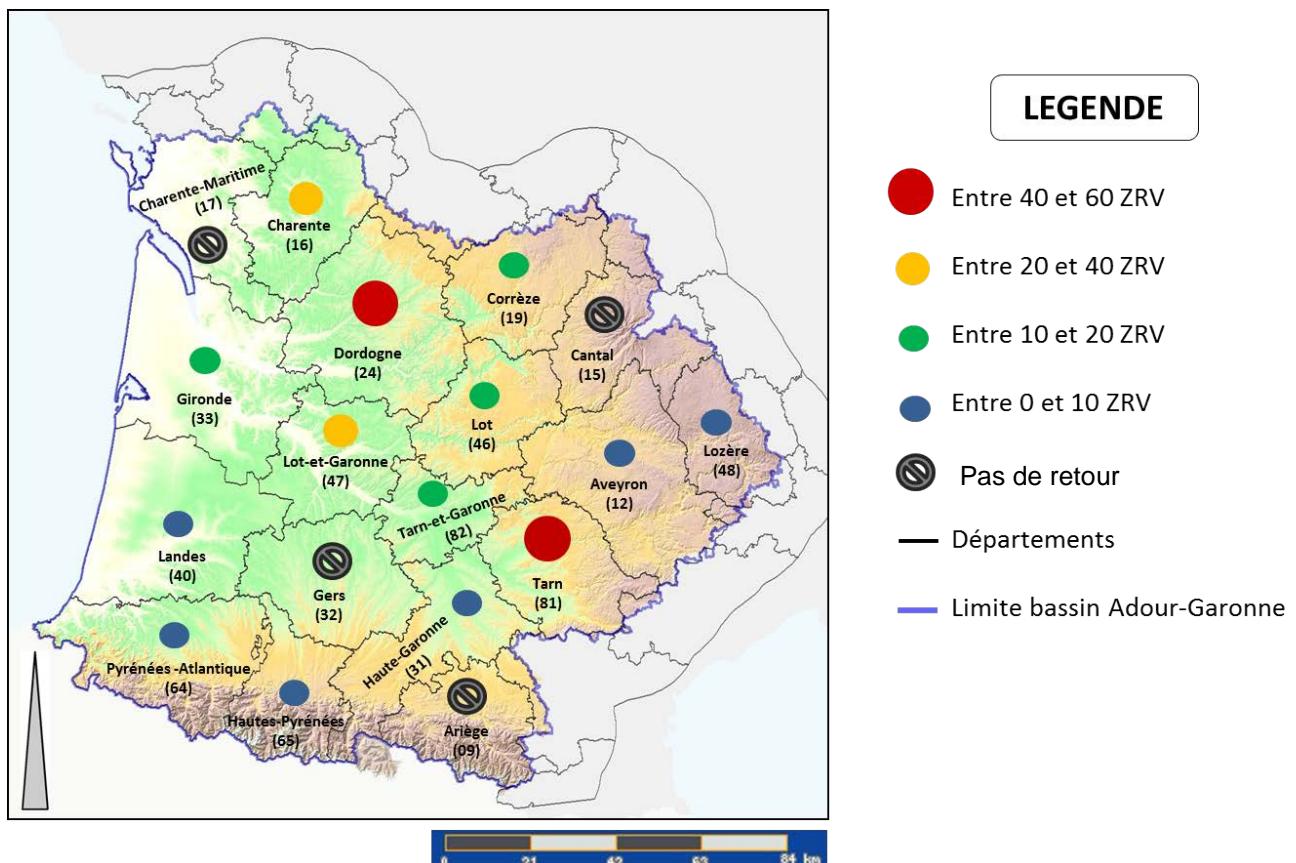


Figure 2: Répartition des ZRV recensées en 2015 sur le bassin Adour-Garonne (18 départements) - Source : [21]

La Figure 3 ci-après présente précisément le nombre de ZRV existantes dans chaque département.

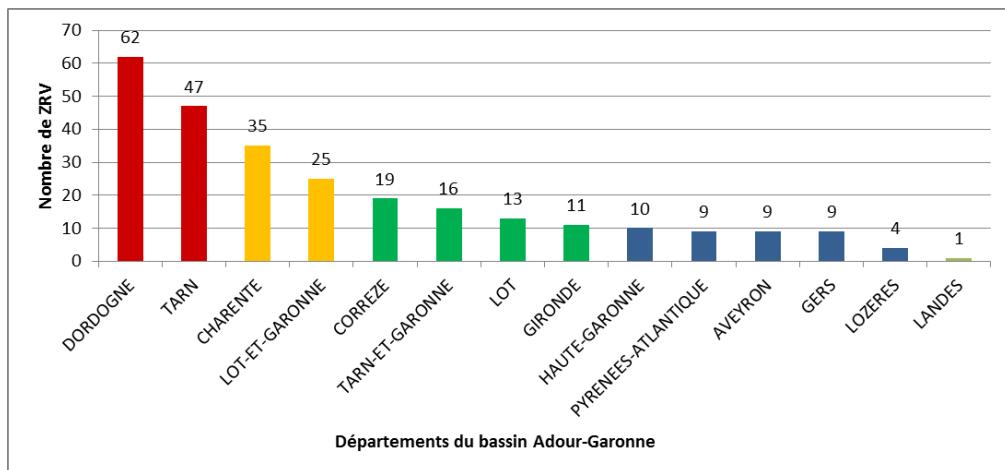


Figure 3: Nombre de ZRV par département – Source : [21]

Les données recueillies montrent que les ZRV existent depuis plus de 20 ans, mais que l'implantation de ces ouvrages s'est accélérée il y a une dizaine d'année, avec, entre 2009 et 2013, une trentaine d'ouvrages mis en service par an.

### 2.3.2 Procédé amont

L'enquête effectuée sur le territoire Adour-Garonne confirme que les ZRV sont majoritairement présentes sur des stations d'épuration de petite taille, avec plus de la moitié des ZRV implantées sur des stations d'épuration de capacité inférieures à 500 EH (Figure 4 : Répartition des ZRV selon le type de STEU – Source : [21]).

Comme le montre la Figure 4, **la grande majorité de ces zones (77%) sont implantées en sortie de procédé de type filtres plantés de roseaux (FPR)**. Ce résultat reflète finalement les constructions actuelles pour lesquelles la filière de traitement par FPR est prépondérante pour les STEU de petite capacité (<1000 EH). C'est pour cette raison qu'on retrouve le plus souvent l'association « FPR-ZRV » pour les stations de faible capacité.

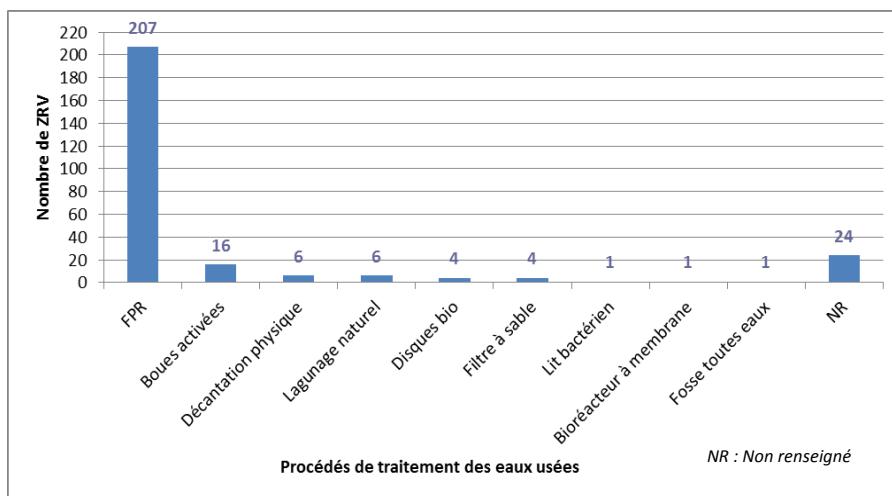


Figure 4 : Répartition des ZRV selon le type de STEU – Source : [21]

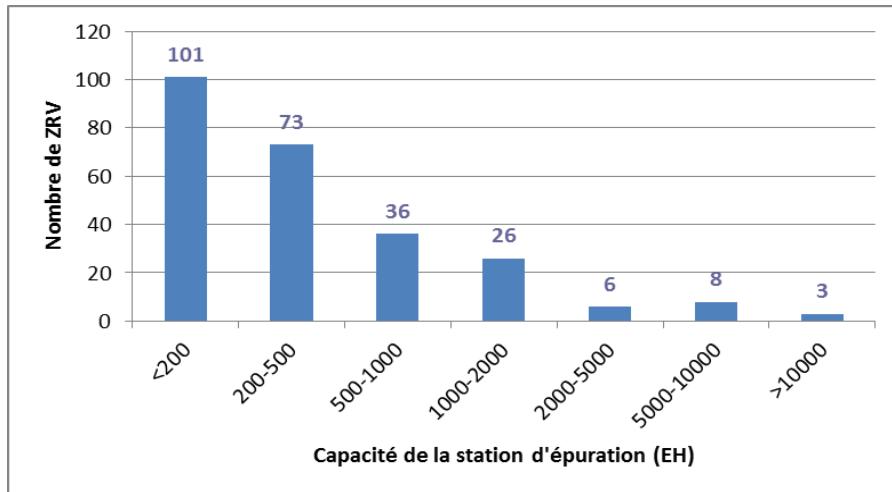


Figure 5: Répartition des ZRV selon la capacité de la STEU (17 données manquantes sur 270) – Source : [21]

### 2.3.3 Aspect technique

#### a. Objectifs

Le graphique en Figure 6 montre la répartition des ZRV en fonction des objectifs principaux (prioritaire : choix 1 ; secondaire : choix 2) visés par les maîtres d'ouvrages.

En premier choix, on constate que pour la grande majorité des cas, c'est l'objectif « **zéro rejet** » (39%) qui justifie l'implantation de telles zones. Vient ensuite la volonté de **diminuer le volume des rejets** ainsi que l'impact hydraulique.

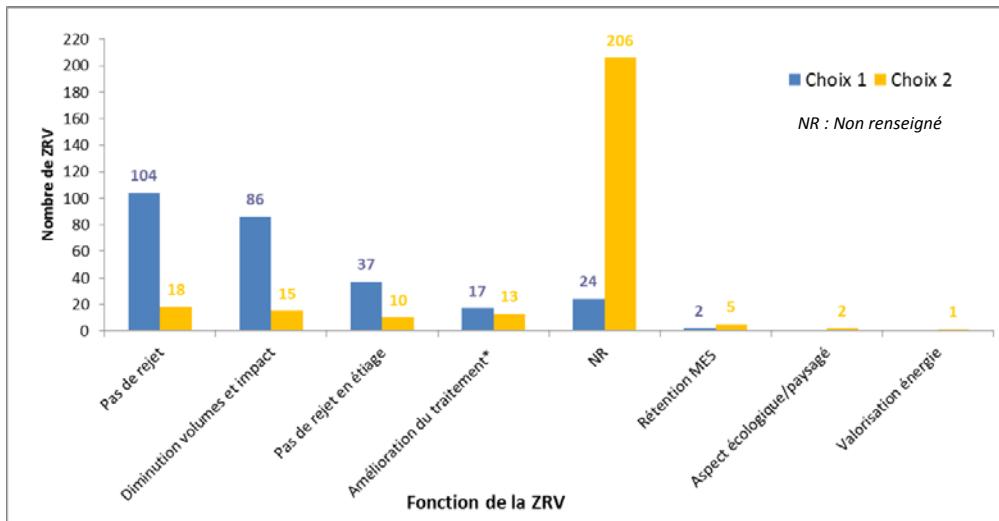


Figure 6: Justification des choix d'implantation des ZRV.  
(\*Amélioration du traitement : concentration en N, P et bactéries) – Source : [21]

Si l'on compare ce résultat avec la fréquence des rejets en sortie de l'ouvrage, on retrouve un résultat cohérent avec **39% des ZRV ayant un rejet nul** (constat fait lors des visites ponctuelles des SATESE. Le rejet nul n'est pas forcément vrai toute l'année).

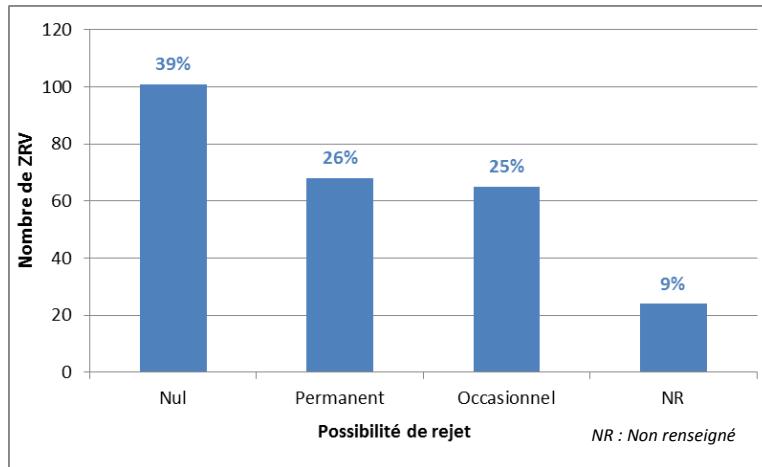


Figure 7: Nombre de ZRV selon la fréquence de rejet en sortie de ZRV – Source : [21]

Ces données montrent que **39% des ouvrages du bassin doivent plutôt être qualifiés de dispositifs d'infiltrations**, puisqu'il y a absence de rejet au milieu récepteur superficiel quelques soit la période de l'année.

Ce type de zone répond à une problématique particulière de certains territoires qui ne disposent pas d'un réseau hydrographique suffisant (en quantité ou qualité) pour recueillir les eaux traitées en sortie de STEU.

#### b. Morphologie et alimentation

Deux morphologies majoritaires ont été recensées : **les bassins et les fossé-noues** (sol avec surcreusement), sur le bassin (Figure 8).

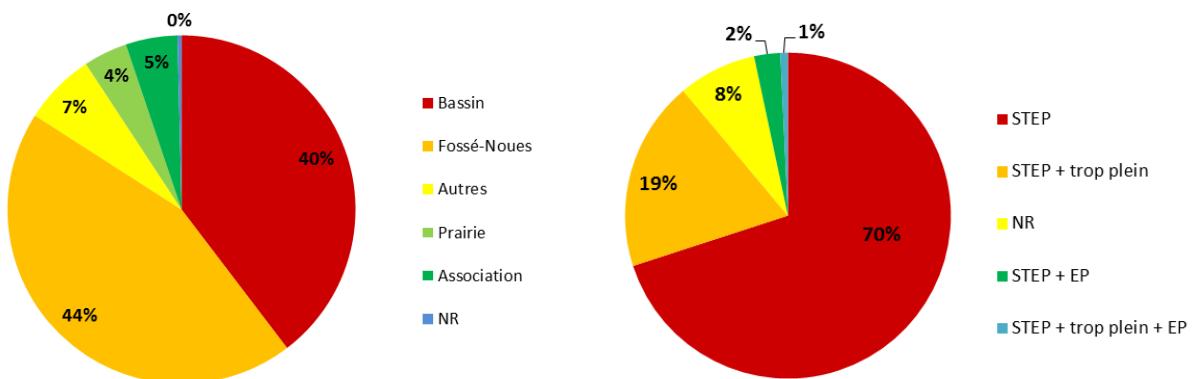


Figure 8: Types d'ouvrage constituant les ZRV – Source : [21]

Figure 9: Répartition des ZRV en fonction de l'origine de l'arrivée d'eau – Source : [21]

STEU: Rejet traité de la station d'épuration. EP: Réseau de collecte des eaux pluviales. Trop plein: trop plein du poste de relevage ou du déversoir d'orage. NR: Non Renseigné.

L'analyse des questionnaires fait ressortir plusieurs précisions sur l'aménagement des ZRV, malgré 35% de cas où les détails ne sont pas donnés. Concernant le type « fossé » qu'on retrouve le plus souvent, on peut noter la plantation fréquente de saules ou d'aulnes. Pour le type « bassins », c'est le bassin d'infiltration qui est le plus construit.

Les ZRV sont majoritairement alimentées par les eaux usées traitées en sortie de station seules (Figure 9). Il est intéressant de remarquer que dans 20% des cas, la ZRV reçoit (en plus des eaux usées traitées), le trop plein du poste d'alimentation de la STEU, c'est-à-dire des eaux potentiellement chargées.

## 2.3.4 Autres aspects

### a. Exigences réglementaires

D'après les résultats de l'enquête, **dans au moins 35% des cas, l'implantation de la ZRV répond à une exigence réglementaire ou à une demande directe de la Police de l'Eau.**

Cette demande de la Police de l'Eau est faite lorsque le calcul d'impact du rejet traité sur le milieu récepteur montre l'impossibilité d'atteindre l'objectif de bon état fixé par la DCE.

Dans la plupart des cas, l'exigence est le « zéro rejet » (toute l'année ou à l'étiage). Lorsque cet objectif est permanent (toute l'année), ces ouvrages doivent être qualifiés de zones d'infiltration soumises aux exigences de l'arrêté du 21 juillet 2015.

### b. Suivi qualité

Sauf cas particulier, la ZRV n'est pas soumise à un suivi réglementaire obligatoire. Les résultats du questionnaire 2015 montrent qu'en Adour-Garonne, seulement **20% des ZRV font l'objet d'un suivi de qualité.** Il s'agit généralement de mesures effectuées par les SATESE engagés dans une démarche de connaissance propre à chaque département.

À noter qu'en 2015 et 2016, l'agence de l'eau a financé une mission d'expertise auprès des SATESE pour effectuer le suivi d'une dizaine de ZRV témoins sur le bassin.

### c. Surveillance et entretien

**78%** des ZRV recensées sur le bassin Adour-Garonne font l'objet d'un passage régulier sur site permettant de veiller à leur bon fonctionnement.

Dans la majorité des cas, cet entretien s'avère indispensable pour garantir le bon fonctionnement de la zone (au moins hydraulique).

## 2.3.5 Bilan du recensement

Les nombreuses réponses apportées par les départements du bassin Adour-Garonne, permettent de confirmer un fort développement des ZRV depuis une dizaine d'années.

Le questionnaire a également fait ressortir les deux types majoritaires de ZRV à savoir les « bassins » et « fossés-noues ».

Cette enquête a pu confirmer que l'objectif prioritaire attendu pour les ZRV du bassin est une réduction des volumes d'eaux usées pouvant aller très souvent jusqu'à l'objectif « zéro rejet » saisonnier ou permanent, dû à des milieux récepteurs présentant un faible débit d'étiage ou à usages sensibles.

### 3 Rappels réglementaires

Les modalités de collecte, de traitement et d'usages des eaux usées résiduaires des collectivités sont soumis à de nombreux textes réglementaires, qui assurent à la fois la veille sanitaire, la protection des milieux et le contrôle des installations de traitement.

Plusieurs arrêtés fixent notamment les limites et références de qualité de ces eaux, parmi lesquels :

- ▶ **L'arrêté du 21 juillet 2015 modifié par l'arrêté du 24 août 2017 [C]** qui fixe les performances épuratoires minimales des systèmes d'assainissement recevant une charge organique supérieure à 1,2 kj/DBO5 (20 EH) ;
- ▶ **L'arrêté du 2 août 2010 modifié par l'arrêté du 25 juin 2014 [F]** qui fixe les niveaux sanitaires requis pour l'utilisation dans l'irrigation des eaux traitées ; complété par l'instruction interministérielle du 26 août 2016.
- ▶ **La directive 2006/7/CE [G]**, qui fixe les limites sanitaires et le classement pour la qualité des eaux de baignade.

En complément de ces textes, **l'arrêté du 25 janvier 2010 modifié par l'arrêté du 27 juillet 2015 [E]** établit les critères d'évaluation de l'état des masses d'eaux de surface, qui sont bien souvent l'exutoire des systèmes d'assainissement.

Les rappels réglementaires suivants permettent de replacer dans leur contexte les résultats du suivi ZRV et des analyses d'eaux présentés dans la suite du document.

*Les tableaux ci-après, extraits des textes réglementaires, rappellent les principales valeurs de référence concernant la qualité des rejets de stations d'épuration et la qualité des cours d'eau. Ces valeurs de référence sont à comparer aux résultats des mesures réalisées sur les ZRV existantes.*

#### 3.1 Les ZRV dans la réglementation

##### 3.1.1 Arrêté du 21 juillet 2015 et ses commentaires

Comme vu au paragraphe 1.1, le terme « zone de rejet végétalisée » a, pour la première fois, fait l'objet d'une définition et d'un encadrement réglementaire lors de la publication de l'arrêté ministériel du 21 juillet 2015, complété par ses commentaires et en particulier la fiche 14 « Évacuation des eaux usées traitées, dispositif de rejet » [D].

Les zones de rejet végétalisées sont des installations additionnelles aux traitements, considérées comme « mesures correctrices » visant à atténuer les impacts du rejet de la station d'épuration sur le milieu récepteur.

D'après la définition donnée au point 30 de l'article 2, **la ZRV ne fait pas partie du processus de traitement**. Ces installations ne peuvent être considérées comme traitement tertiaire, et à ce titre ne sont pas incluses dans le champ d'application du terme « station d'épuration ». Les performances épuratoires de l'installation de traitement doivent donc être garanties en sortie de STEU, c'est-à-dire en amont de la ZRV.

*[...] Cet aménagement ne fait pas partie du dispositif de traitement des eaux usées mais est inclus dans le périmètre de la station.*

*Arrêté du 21/07/2015 [C] - Article 2, point 30*

Outre sa définition qui souligne également la notion de milieu récepteur superficiel, le texte réglementaire fait référence une fois à la ZRV dans son article 17 (autosurveillance) :

*Le maître d'ouvrage de la station de traitement des eaux usées met en place les aménagements et équipements adaptés pour obtenir les informations d'autosurveillance décrites à l'annexe 1.*

*Dans le cas où le rejet des eaux usées traitées requiert l'installation d'un bassin d'infiltration vers les eaux souterraines ou l'installation d'une zone de rejet végétalisée, l'appareillage de contrôle est installé à l'amont hydraulique de ces dispositifs.*

Arrêté du 21/07/2015 [C] – Article 17 §III 105

La différence entre dispositif d'infiltration et zone de rejet végétalisée est clairement rappelée dans les commentaires de l'arrêté du 21/07/2015 :

#### **Différence entre un dispositif d'infiltration et une zone de rejet végétalisée**

*Le terme dispositif d'infiltration est utilisé lorsque l'objectif recherché est l'infiltration totale et permanente des eaux usées traitées vers les eaux souterraines, avec application stricte de l'article 8 de l'arrêté.*

*Le terme « Zone de Rejet Végétalisée » (ZRV) est utilisé dans les autres cas, le rejet n'est pas concerné par une infiltration totale et permanente des eaux usées traitées.*

Commentaire à l'arrêté du 21/07/2015 [D] – Fiche 14 §3

**Le dispositif d'infiltration doit répondre aux obligations de l'article 8 de l'arrêté du 21 juillet 2015 :**

*Dans le cas où une impossibilité technique ou des coûts excessifs ou disproportionnés ne permettent pas le rejet des eaux usées traitées dans les eaux superficielles, ou leur réutilisation, ou encore que la pratique présente un intérêt environnemental avéré, ces dernières peuvent être évacuées par infiltration dans le sol, après étude pédologique, hydrogéologique et environnementale, montrant la possibilité et l'acceptabilité de l'infiltration.*

Arrêté du 21/07/2015 [C] – Article 17 §III

À noter que dans certain cas, la ZRV qui dispose d'un rejet au milieu récepteur superficiel mais présente une infiltration saisonnière ou partielle de ses eaux peut être soumise au cas par cas à cet article 17 de l'Arrêté du 21/07/2015 (comme détaillé dans le document EPNAC « Contenu des études préalables à la réalisation d'une Zone de Rejet Végétalisée » [17].b).

### **3.1.2 Exigences réglementaires particulières**

#### **a. Obligation de résultat**

Dans certains cas particuliers, notamment dans le cas où le rejet de la station d'épuration ne permet pas de garantir le niveau de bon état des masses d'eau exigé par la DCE, des obligations de performances de la ZRV peuvent être inscrites dans l'arrêté préfectoral de la station.

Par exemple dans le cas où la ZRV doit permettre d'assurer le « zéro rejet » à l'étiage, cette exigence réglementaire peut être soumise à obligation de résultat, parfois avec des exigences calendaires (6 mois par an, à l'étiage...).

#### **b. Suivi de l'impact sur le milieu**

Les commentaires techniques de l'arrêté du 21/07/2015 précisent qu'un suivi du milieu récepteur peut être exigé ponctuellement par la DDT (service Police de l'Eau).

*Si la ZRV est considérée comme une mesure correctrice ou compensatoire de l'opération, pour le milieu aquatique récepteur de surface, un suivi spécifique peut être prescrit par la police de l'eau durant les premières années de fonctionnement, afin de vérifier son incidence sur le milieu au titre des objectifs DCE (suivi amont - aval de la ZRV et milieu récepteur).*

Commentaire à l'arrêté du 21/07/2015 [D] – Fiche 14 §4

Dans le cas d'une ZRV avec une infiltration partielle et/ou saisonnière du rejet, un suivi qualitatif de la nappe d'eau souterraine peut être exigé par la DDT (service Police de l'Eau). Ce suivi doit permettre de s'assurer que l'infiltration des eaux dans le sol n'impacte pas le milieu récepteur souterrain.

La mise en place d'équipement de prélèvement et de contrôle (piézomètres...) peut être exigée dans l'arrêté préfectoral de la station en complément des équipements d'autosurveillance réglementaire.

Dans le cas d'une zone infiltrant 100% du rejet de la STEU toute l'année, les obligations réglementaires sont celles définies par l'arrêté du 21/07/2015 relatives à l'infiltration.

## 3.2 Limites de rejet et performances épuratoires attendues

**Le paragraphe suivant rappelle les exigences épuratoires minimales fixées pour les STEU par la réglementation.** Des valeurs plus sévères peuvent être fixées par le préfet si les objectifs de qualité des eaux réceptrices les rendent nécessaires.

### *Article 14 : Traitement des eaux usées et performances à atteindre.*

*Conformément à l'article R. 2224-12 du code général des collectivités territoriales pour les agglomérations d'assainissement et en application de l'article R. 2224-17 du code général des collectivités territoriales pour les immeubles raccordés à une installation d'assainissement non collectif, le traitement doit permettre de respecter les objectifs environnementaux et les usages des masses d'eaux constituant le milieu récepteur.*

*Ce traitement doit au minimum permettre d'atteindre, pour un volume journalier entrant inférieur ou égal au débit de référence et hors situations inhabituelles décrites à l'article 2, les rendements ou les concentrations figurant :*

*1° Au tableau 6 de l'annexe 3 pour les paramètres DBO5, DCO et MES ;*

*2° Au tableau 7 de l'annexe 3 pour les paramètres azote et phosphore, pour les stations de traitement des eaux usées rejetant en zone sensible à l'eutrophisation.*

*Des valeurs plus sévères que celles figurant dans cette annexe peuvent être prescrites par le préfet en application des articles R. 2224-11 du code général des collectivités territoriales et R. 214-15 et R. 214-18 ou R. 214-35 et R. 214-39 du code de l'environnement, au regard des objectifs environnementaux.*

*Arrêté du 21/07/2015 [C] – Article 1*

L'annexe 3 tableaux 6 et 7 de l'arrêté du 21 juillet 2015 fixent les valeurs minimales à atteindre pour la DBO, DCO, MES et l'azote et le phosphore.

**Annexe III à l'arrêté du 21 juillet 2015**

**PERFORMANCES MINIMALES DES STATIONS DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES DES AGGLOMÉRATIONS D'ASSAINISSEMENT**

**Tableau 6 : Performances minimales de traitement attendues pour les paramètres DBO5, DCO et MES. La valeur de la concentration maximale à respecter ou le rendement minimum sont appliqués**

PARAMÈTRE	CHARGE BRUTE de pollution organique produite par l'agglomération d'assainissement en kg/ j de DBO5	CONCENTRATION	PARAMÈTRE	CHARGE BRUTE de pollution organique produite par l'agglomération d'assainissement en kg/ j de DBO5
DBO5	< 120 ≥ 120	35 mg (O <sub>2</sub> )/l 25 mg (O <sub>2</sub> )/l	60 % 80 %	70 mg (O <sub>2</sub> )/l 50 mg (O <sub>2</sub> )/l
DCO	< 120 ≥ 120	200 mg (O <sub>2</sub> )/l 125 mg (O <sub>2</sub> )/l	60 % 75 %	400 mg (O <sub>2</sub> )/l 250 mg (O <sub>2</sub> )/l
MES (*)	< 120 ≥ 120	/ 35 mg/l	50 % 90 %	85 mg/l 85 mg/l

Le respect du niveau de rejet pour le paramètre MES est facultatif dans le jugement de la conformité en performance.

(\*) Les valeurs des différents tableaux se réfèrent aux méthodes normalisées, sur échantillon homogénéisé, non filtré ni décanté. Toutefois, les analyses effectuées en sortie des installations de lagunage sont effectuées sur des échantillons filtrés, sauf pour l'analyse des MES. La concentration rédhibitoire des MES dans les échantillons d'eau non filtrée est alors de 150 mg/l en moyenne journalière, quelle que soit la CBPO traitée.

**Tableau 7. Performances minimales de traitement attendues pour les paramètres azote et phosphore, dans le cas des stations rejetant en zone sensible à l'eutrophisation. La valeur de la concentration maximale à respecter ou le rendement minimum sont appliqués**

REJET EN ZONE SENSIBLE à l'eutrophisation	PARAMÈTRE	CHARGE BRUTE de pollution organique produite par l'agglomération d'assainissement en kg/ j de DBO5	CONCENTRATION maximale à respecter, moyenne annuelle	RENDEMENT MINIMUM à atteindre, moyenne annuelle
Azote	NGL (1)	> 600 et ≤ 6000 ≥ 6 000	15 mg/l 10 mg/l	70 % 70 %
Phosphore	Ptot	> 600 et ≤ 6 000 ≥ 6 000	2 mg/l 1 mg/l	80 % 80 %

(1) Les échantillons utilisés pour le calcul de la moyenne annuelle sont prélevés lorsque la température de l'effluent dans le réacteur biologique est supérieure à 12 °C.

*Arrêté du 21/07/2015 [C] – Annexe 3*

Les performances épuratoires doivent être garanties au niveau du rejet de la station d'épuration, à l'amont de la zone de rejet végétalisée. Toutefois, la ZRV ayant pour objectif d'atténuer l'impact du rejet sur le milieu récepteur, on s'attend à ce que, par une réduction des volumes ou par les phénomènes en jeu, les flux de pollution résiduels soient réduits vers le milieu récepteur.

### 3.3 Prescriptions sanitaires relatives à l'utilisation des eaux traitées pour l'irrigation

La réglementation, et plus particulièrement **l'arrêté du 25 juin 2014**, prévoit la possibilité d'utiliser les eaux traitées issues du rejet des stations d'épuration pour l'irrigation de cultures, d'espaces verts ou de forêts, sous certaines conditions précises.

#### *Article 1 : Champ d'application.*

*Le présent arrêté fixe les prescriptions sanitaires et techniques applicables à l'utilisation d'eaux usées traitées, pour l'arrosage ou l'irrigation, à des fins agronomiques ou agricoles, de cultures, d'espaces verts ou de forêts. Ces prescriptions visent à garantir la protection de la santé publique, de la santé animale et de l'environnement ainsi que la sécurité sanitaire des productions agricoles.*

*Au sens du présent arrêté, les eaux usées traitées sont celles issues des stations de traitement des eaux usées mentionnées au II de l'article L. 2224-8 du code général des collectivités territoriales et celles issues des installations d'assainissement non collectif mentionnées au III de l'article L. 2224-8 du code général des collectivités territoriales et dont la charge brute de pollution organique est supérieure à 1,2 kg de demande biologique en oxygène sur cinq jours (DBO5) par jour.*

Arrêté du 25/06/2014 [F] – Article 1

Ce document est complété par l'instruction interministérielle du 26 août 2016 relative à la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts.

L'article 1 de l'arrêté du 2 août 2010 précise que l'arrosage ou l'irrigation est effectué à **des fins agronomiques ou agricoles**.

**Sauf si l'objectif assigné à la ZRV est de créer une ressource alternative pour l'irrigation de cultures, d'espaces verts ou de forêt, la ZRV ne rentre pas dans le champ d'application de cet arrêté.**

**Sur ce dernier point, le commentaire technique à l'arrêté du 21 juillet 2015 précise :**

*Si les eaux usées traitées issues d'une ZRV sont utilisées pour l'irrigation des cultures ou des espaces verts ou si la ZRV peut être considérée comme une zone de culture ou un espace vert, alors l'arrêté du 2 août 2010 modifié par l'arrêté du 25 juin 2014 (REUT) s'applique.*

Commentaire à l'arrêté du 21/07/2015 [D] – Fiche 14 §4

L'arrêté du 25 juin 2014 fixe notamment plusieurs classes de qualités sanitaires des eaux traitées, selon des critères physico-chimiques et biologiques. Ces critères pourront être comparés aux résultats des mesures sur les ZRV, notamment pour les paramètres MES, DCO et E.coli, afin d'évaluer la qualité sanitaire des eaux en sortie de ZRV.

#### **ANNEXE II : NIVEAUX DE QUALITÉ SANITAIRES DES EAUX USÉES TRAITÉES**

*Quatre niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées (A, B, C et D) sont définis comme suit :*

PARAMÈTRES	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES				
	Classe	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/l)	15	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation			
Demande chimique en oxygène (mg/l)	60				
Entérocoques fécaux (abattement en log)	4	3	2	2	
Phages ARN F-spécifiques (abattement en log)	4	3	2	2	
Spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices (abattement en log)	4	3	2	2	
Escherichia coli (UFC/100 ml)	250	10 000	100 000	—	

Les eaux usées traitées sont classées dans le niveau de qualité qui correspond au classement du paramètre le plus défavorable.

Pour les stations d'épuration dont la qualité des eaux usées traitées varie dans l'année, il convient de prendre en compte les résultats d'analyses relatives au dénombrement d'*Escherichia coli* précédant la campagne d'irrigation.

Les abattements sont mesurés entre l'eau entrant dans la station d'épuration et l'eau usée traitée sortant de la station d'épuration ou de la filière de traitement complémentaire, le cas échéant.

Arrêté du 25/06/2014 [F] – ANNEXE II

### 3.4 Évaluation de l'état des cours d'eau

L'arrêté du 25 janvier 2010 modifié par l'arrêté du 27 juillet 2015 [E] définit les méthodes et critères d'évaluation de l'état des cours d'eau.

Cette évaluation peut notamment permettre de comparer l'état des milieux à l'amont et à l'aval du rejet.

#### Éléments physico-chimiques généraux

##### 1.2.1. Cas général

Tableau 37 : Valeurs des limites des classes d'état pour les paramètres physico-chimiques généraux pour les cours d'eau

Paramètres par élément de qualité	Limites des classes d'état				
	très bon	Bon	moyen	médiocre	mauvais
<b>Bilan de l'oxygène</b>					
oxygène dissous (mg O <sub>2</sub> .l <sup>-1</sup> )	8	6	4	3	
taux de saturation en O <sub>2</sub> dissous (%)	90	70	50	30	
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .l <sup>-1</sup> )	3	6	10	25	
carbone organique dissous (mg C.l <sup>-1</sup> )	5	7	10	15	
<b>Température</b>					
eaux salmonicoles	20	21.5	25	28	
eaux cyprinicoles	24	25.5	27	28	
<b>Nutriments</b>					
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> .l <sup>-1</sup> )	0.1	0.5	1	2	
phosphore total (mg P.l <sup>-1</sup> )	0.05	0.2	0.5	1	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .l <sup>-1</sup> )	0.1	0.5	2	5	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> .l <sup>-1</sup> )	0.1	0.3	0.5	1	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .l <sup>-1</sup> )	10	50	*	*	
<b>Acidification</b>					
pH minimum	6.5	6	5.5	4.5	
pH maximum	8.2	9	9.5	10	
<b>Salinité</b>					
conductivité	*	*	*	*	
chlorures	*	*	*	*	
sulfates	*	*	*	*	

Pour les éléments de qualité physico-chimiques, les limites supérieure et inférieure de la classe « bon » suffisent pour la classification de l'état écologique. En effet, en principe, seuls les éléments biologiques peuvent déterminer un état écologique « médiocre » ou « mauvais ».

Arrêté du 27/07/2015 [E] ANNEXE 2, §1.2.1

## 3.5 Normes de qualité des eaux de baignade

La démarche de suivi de la qualité des eaux de baignade proposée dans la nouvelle directive 2006/7/CE [G] est basée sur la comparaison d'un percentile des mesures microbiologiques à des valeurs seuils. La procédure de classement des eaux de baignade présente des particularités :

- Le classement est effectué en prenant en compte les quatre dernières années de données
- Le nombre de paramètres suivis est réduit à deux paramètres microbiologiques
  - Entérocoques intestinaux
  - *E. coli*

Pour qu'un site soit classé dans une catégorie de qualité donnée, les valeurs seuils sur les deux indicateurs doivent être simultanément respectées

- Trois catégories de qualité d'eaux conformes à la baignade sont proposées : Excellente, Bonne, Suffisante.
- Les seuils proposés diffèrent pour les eaux douces et les eaux de mer.
- Le classement est basé sur les percentiles 95 % et 90 %. Celui-ci est calculé par une approche paramétrique, fondée sur l'hypothèse que les mesures des concentrations suivent une loi lognormale.

Ces normes sont basées sur des études montrant qu'une eau respectant ces normes permet d'offrir au public une baignade sans risque significatif pour leur santé.

Le classement se fait par une méthode statistique sur la base des analyses réalisées pendant 4 années consécutives.

Les entérocoques intestinaux et les *Escherichia coli* sont mesurés en **unités formant colonie (UFC)** dans 100 mL d'eau.

Pour les classes de qualités bonne et excellente, le calcul du classement se fait par calcul du 95<sup>e</sup> percentile des valeurs obtenues au cours des quatre dernières années. Le 95<sup>e</sup> percentile étant la valeur à laquelle 95% des données (résultats d'analyses microbiologiques) sont inférieures.

Pour la classe de qualité suffisante, c'est le 90<sup>e</sup> percentile qui est retenu, le 90<sup>e</sup> percentile étant la valeur à laquelle 90% des données (résultats d'analyses microbiologiques) sont inférieures.

Classement des eaux de baignades (selon l'annexe I de la nouvelle directive 2006/7/CE) :					
Pour les eaux intérieures (eaux douces)					
Pour les eaux intérieures (eaux douces)					
	Paramètre	Excellent qualité	Bonne qualité	Qualité suffisante	Méthodes de référence pour l'analyse
1	Entérocoques intestinaux (UFC/100ml)	200 *	400 *	330 **	ISO 7899-1 ou ISO 7899-2
2	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100ml)	500 *	1000 *	900 **	ISO 9308-3 ou ISO 9308-1

\* Evaluation au 95<sup>e</sup> percentile.  
\*\* Evaluation au 90<sup>e</sup> percentile.

**Qualité microbiologique relatives aux eaux de baignade en eau douce**

*Directive 2006/7/CE [G]*

# 4 Phénomènes en jeu et revue des connaissances

Cette synthèse bibliographique est essentielle pour la compréhension et l'analyse des résultats de l'étude. Elle permet de faire le point sur les différents phénomènes en jeu dans une ZRV susceptibles de réduire l'impact du rejet sur le milieu superficiel. Elle souligne également les facteurs de conception permettant de favoriser ces phénomènes.

Les principaux phénomènes en jeu dans une ZRV, présentés sur la Figure 10 sont les suivants :

- Hydraulique : Évapotranspiration / Infiltration
- Mécanismes physico-chimiques
- Mécanismes biologiques
- Échanges de surface (sol/eau, eau/air)

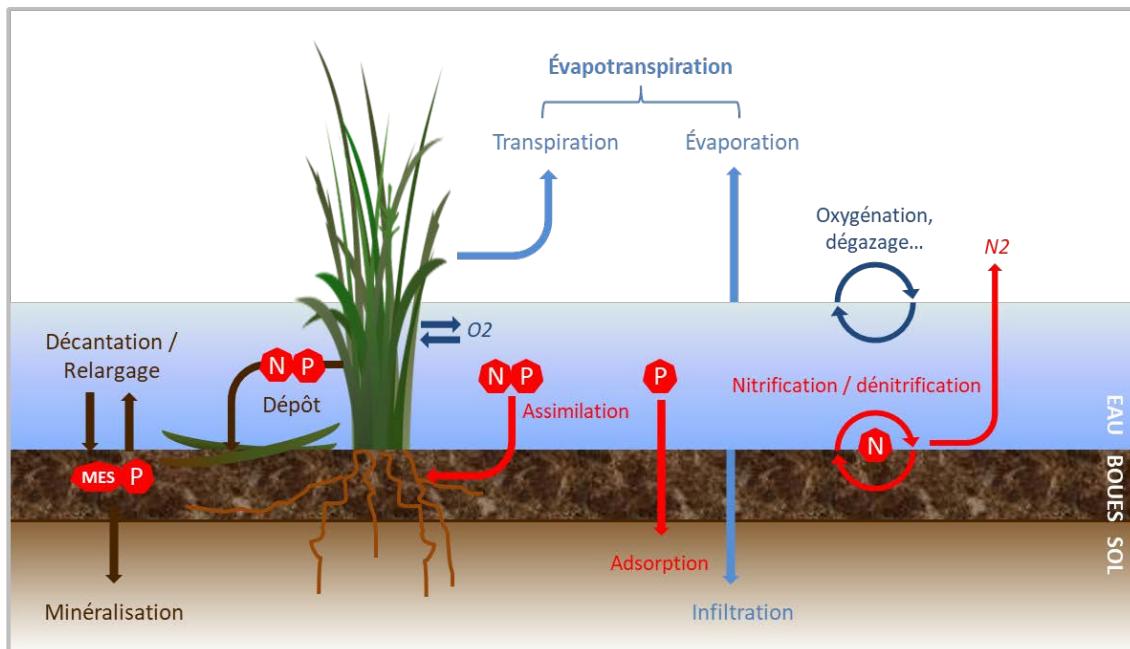


Figure 10 : Les phénomènes en jeu dans la ZRV

## 4.1 L'azote et le phosphore

### 4.1.1 La dynamique de l'azote

#### a. Le cycle de l'azote

D'après les différentes études réalisées sur le sujet ([4][7][11][22][36]...) et les constats effectués in-situ, la plupart des ZRV ont un impact sur les composés azotés. Cet impact dépend des conditions du potentiel redox, de la température, de l'oxygène dissous et la présence de bactéries, algues et plantes...

Le cycle de l'azote tel qu'on peut le rencontrer dans les ZRV est donné dans la Figure 12.

Dans les ZRV, l'azote est majoritairement présent sous trois formes principales que sont l'ammonium ( $NH_4^+$ ), les nitrates ( $NO_3^-$ ) et l'azote organique (Norg). Les nitrites ( $NO_2^-$ ) sont la dernière forme de l'azote présente dans les ZRV, mais en quantité moindre du fait de son instabilité chimique (forme intermédiaire).

En chimie des eaux, l'azote est souvent étudié via l'analyse de l'azote Kjeldahl (NTK), qui comprend les deux formes réduites de l'azote que sont l'ammonium et l'azote organique.

L'azote global (NGL) représente l'analyse de l'azote total sous toutes ses formes.

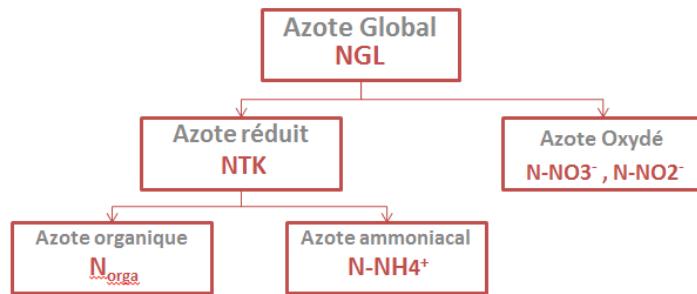


Figure 11 : Les différentes formes de l'azote

L'activité des microorganismes qui catalysent la transformation de l'azote d'une forme à l'autre dépend des conditions d'oxydoréduction du milieu. Ces conditions d'oxydoréduction qui contrôlent le cycle de l'azote sont fortement dépendantes de la teneur en oxygène.

**Minéralisation = Ammonification et nitrification :** Dans des conditions aérobies, l'azote organique peut être minéralisé sous forme de nitrates par les processus successifs d'ammonification ( $N_{org} \rightarrow NH_4^+$ ) et de nitrification ( $NH_4^+ \rightarrow NO_3^-$ ). Ces transformations sont catalysées par des enzymes variées qui peuvent fonctionner, soit à l'intérieur des cellules des micro-organismes, soit directement dans la solution. Les bactéries autotrophes du groupe *Nitrosomonas* et *Nitrobacter* sont responsables des réactions de nitrification. Ce sont des bactéries aérobies strictes, elles ne sont actives qu'en présence d'oxygène libre. La réaction de nitrification a besoin d'une source de carbone qui peut être assurée par les ions bicarbonates.

Par contre, l'ammonification ( $N_{org} \rightarrow NH_4^+$ ) est possible même en conditions anaérobies. Dans les sols engorgés comme les fonds des ZRV, l'eau ralentit la diffusion de l'oxygène. La demande biologique en oxygène devient alors rapidement supérieure au stock disponible, créant des conditions anaérobies.

**Dénitrification :** Les nitrates formés dans les zones aérobies (dans la colonne d'eau ou dans des microsites) peuvent alors diffuser vers les zones anaérobies, où ils seront dénitrifiés ( $NO_3^- \rightarrow N_2$ ). Dans une ZRV, ce processus a lieu principalement dans les sédiments et la litière, mais aussi parfois dans le biofilm des macrophytes. Comme la nitrification, la dénitrification a besoin d'une source de carbone.

La dénitrification est réalisée par plusieurs groupes de bactéries hétérotrophes du genre *Pseudomonas*, *Bacillus*, ... Ces bactéries sont aérobies facultatives. En effet, elles peuvent survivre en présence ou en absence d'oxygène libre, puisqu'elles sont capables de respirer en utilisant l'oxygène dissous ou les nitrates. Lors de cette respiration, les nitrates sont réduits par une série de réactions qui aboutissent à la formation d'azote moléculaire gazeux ( $N_2$ ), en passant par des intermédiaires dissous (nitrites  $NO_2^-$ ) et gazeux (oxyde nitreux  $NO$ , protoxyde d'azote  $N_2O$ ).

**Dissimilation :** Dans des conditions très réductrices, les nitrates peuvent être transformés en ammonium par les bactéries du genre *Geobacter* et *Desulfovibrio*. Ce processus s'appelle la réduction dissimilative.

**Fixation / assimilation :** Il existe dans les ZRV des organismes libres dans le sol ou associés aux racines (symbiotes) qui peuvent fixer l'azote. L'azote peut également être prélevé par la végétation sous forme de  $NO_3^-$  ou de  $NH_4^+$ . L'azote introduit dans le milieu par fixation retournera au milieu sous forme organique pour y subir les réactions de transformation que l'on vient de décrire dans cette partie. Ces réactions sont récapitulées dans la Figure 12.

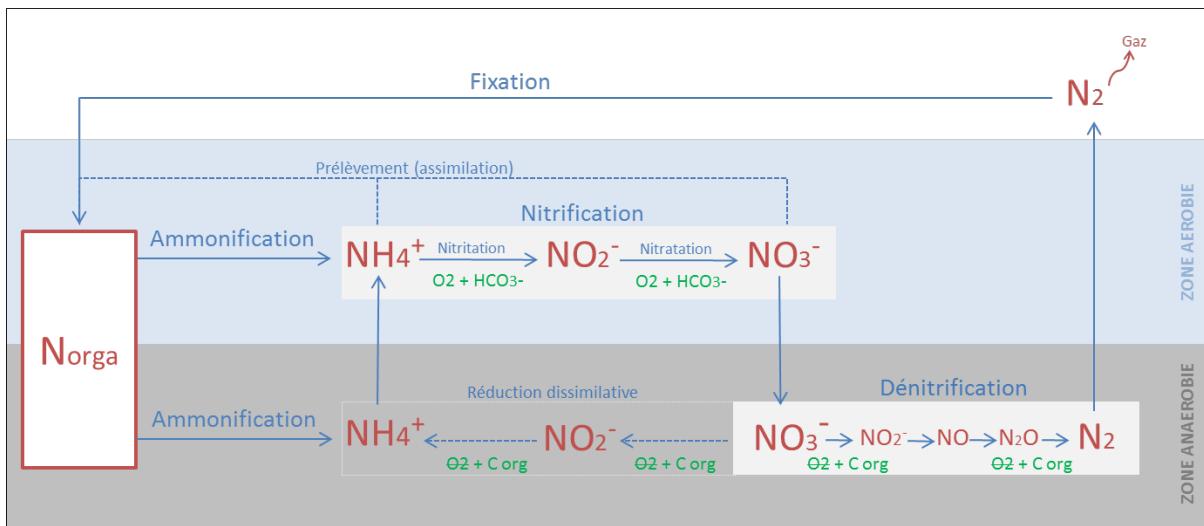


Figure 12 : Le cycle de l'azote dans la ZRV

### b. Rôle des macrophytes dans la dénitrification (état des lieux bibliographique)

Depuis de nombreuses années, l'influence des macrophytes dans l'élimination de l'azote au niveau des zones humides est un sujet largement étudié. Bien que le fonctionnement d'une zone humide ne soit pas identique à celui d'une ZRV, il est intéressant d'effectuer un tour d'horizon de la bibliographie sur le sujet.

Une première étude publiée en 2011 dans *Biogeochemistry* [33] met en avant la relation directe entre le taux d'oxygène dans l'eau et la dénitrification, après un rappel de l'état des connaissances :

*Les macrophytes influencent directement ou indirectement la dénitrification. Directement, ils apportent une surface d'attachment pour le biofilm où les conditions hétérogènes d'oxygénation peuvent favoriser à la fois la nitrification et la dénitrification, bien que la plus grande surface disponible soit dans le sédiment lui-même où les conditions sont les plus appropriées pour la dénitrification. Indirectement, ils affectent la dénitrification en changeant la concentration en nutriments en les prélevant et relarguant durant la phase de croissance et de sénescence, et en influençant les niveaux d'O<sub>2</sub>, pH, et la disponibilité en carbone organique dans les sédiments et dans la colonne d'eau.*

*Les hydrophytes créent donc des conditions favorables à la nitrification/dénitrification dans les sédiments en créant des conditions hétérogènes d'oxygène dans la zone racinaire et en excréant du carbone organique par leur racine.*

*Ils peuvent cependant inhiber la dénitrification quand la photosynthèse génère un niveau d'oxygénation trop élevé, et en créant une concurrence avec les bactéries dénitrifiantes pour le nitrate.*

VERAART A.J et al. - Effects of aquatic vegetation type on denitrification [33]- (Traduction)

L'étude visait à comparer l'effet de macrophytes flottants (lentille d'eau de type *Lemna* sp.) avec celui de macrophytes immergés (*Elodea nuttallii*) sur le taux de dénitrification totale dans un microcosme.

*Les taux de dénitrification les plus élevés ont été observés sous un tapis dense de macrophytes flottants (*Lemna* sp.) où les concentrations en oxygène étaient faibles. À la lumière, la dénitrification est inhibée par l'oxygène de la photosynthèse produit par les macrophytes immergés, et par les algues benthiques dans les systèmes sans macrophytes.*

VERAART A.J et al. - Effects of aquatic vegetation type on denitrification [33]- (Traduction)

Les auteurs notent toutefois que **plusieurs études approfondies sur des systèmes limités en nitrates ont montré des effets positifs de la lumière sur la dénitrification due à la nitrification-dénitrification couplée.**

En 2002, la revue *Environmental Pollution*, publie une étude sur l'effet des macrophytes et des sources de carbone externe dans l'élimination de l'azote des eaux souterraines dans des zones humides artificielles [23].

L'étude porte sur plusieurs microcosmes humides non plantés et plantés de cinq macrophytes et hélophytes : *Phragmites australis* (roseau commun), *Commelina communis* (plante herbacée fleurie), *Pennisetum purpureum* (graminée), *Ipomoea aquatica* (liseron d'eau, semi-aquatique) et *Pistia stratiotes* (laitue d'eau, plante flottante). Les eaux étudiées sont des eaux souterraines avec une concentration en azote de 21 à 47 mg N-NO<sub>3</sub>/l.

*Les milieux humides plantés ont affiché une élimination nettement plus importante des nitrates que les milieux humides non plantés, ce qui indique que les macrophytes sont essentiels à l'élimination efficace des nitrates.*

*[...] Les macrophytes présentent une efficacité d'élimination des nitrates spécifique à l'espèce, éventuellement en fonction de leur capacité à produire du carbone pour la dénitrification.*

*[...] Selon le résultat de la récolte, 4 à 11% d'azote éliminé par la zone humide plantée étaient dus à l'absorption de la végétation, et 89 à 96% dus à la dénitrification.*

*LIN Y.F. et al. - Effects of macrophytes and external carbon sources on nitrate removal from groundwater in constructed wetlands [23] - (Traduction)*

Enfin, les travaux de Weisner et al. rappellent l'influence des macrophytes sur l'élimination de l'azote dans les zones humides [35] :

*L'élimination des nitrates dans les zones humides dépend de la dénitrification. Les macrophytes, sont le support de la dénitrification en approvisionnant le carbone organique. La disponibilité du carbone organique pour les bactéries dénitrifiantes provient de la litière et des macrophytes.*

*Les macrophytes émergents sont généralement plus productifs que les macrophytes immergés, mais ces derniers ont plus d'épiphytes et offrent une plus grande surface d'attachement pour les bactéries dénitrifiantes dans la colonne d'eau. Les végétations immergées et submergées diffèrent dans leur modèle de relargage saisonnier du carbone organique.*

*Nous en concluons que le mélange de macrophytes émergents et immergés devrait être bénéfique pour l'élimination des nitrates dans les zones humides aux eaux riches en azote.*

*L'influence de la végétation sur l'hydraulique est aussi importante. Une zone humide avec une alternance de zones plus profondes pour les macrophytes immergés et des zones moins profondes pour les hélophytes devrait favoriser les processus de dénitrification et un écoulement d'eau uniforme.*

*WEISNER E.B. et al. - Influence of Macrophytes on Nitrate Removal in Wetlands [35] - (Traduction)*

Cette étude permet d'établir des premières recommandations extrapolables aux zones de rejet végétalisées.

*[...] Le temps de séjour doit être suffisant pour permettre la nitrification / dénitrification.*

*[...] Une combinaison de végétation émergente et submergée est probablement non seulement bénéfique pour l'élimination de l'azote dans les zones humides recevant l'azote sous forme de nitrate, mais peut également promouvoir une nitrification/dénitrification dans les zones humides recevant l'azote sous forme d'ammonium.*

*WEISNER E.B. et al. - Influence of Macrophytes on Nitrate Removal in Wetlands [35] - (Traduction)*

La littérature semble s'accorder sur le **rôle non négligeable des macrophytes dans l'élimination de l'azote dans les zones humides, principalement via des processus favorisant la dénitrification** (source de carbone organique et support).

Le **prélèvement de l'azote par la végétation peut également constituer un élément significatif de l'abattement de l'azote**. Toutefois, il s'agit **d'un processus provisoire** qui limite les transferts vers l'aval à plus ou moins long terme. Selon les conditions du milieu, le recyclage à la mort des organismes, sera plus ou moins rapide : la minéralisation peut être précédée par une période d'enfouissement qui constitue une forme de stockage et peut dans certains cas faciliter le processus de dénitrification.

Grace à ces connaissances, une analyse critique des résultats obtenus au court de la présente étude devra permettre d'évaluer si ces rôles sont également prépondérants dans les ZRV pour l'élimination de l'azote résiduel en sortie de STEU.

#### 4.1.2 La dynamique du phosphore

Contrairement à l'azote ou au carbone, le phosphore n'a pas un cycle naturel « rapide ». Du fait de sa transformation en formes insolubles, le phosphore est généralement le nutriment limitant la croissance des organismes dans les écosystèmes aquatiques. Ainsi le phosphore est une priorité environnementale, car en excès il contribue à l'eutrophisation des masses d'eau.

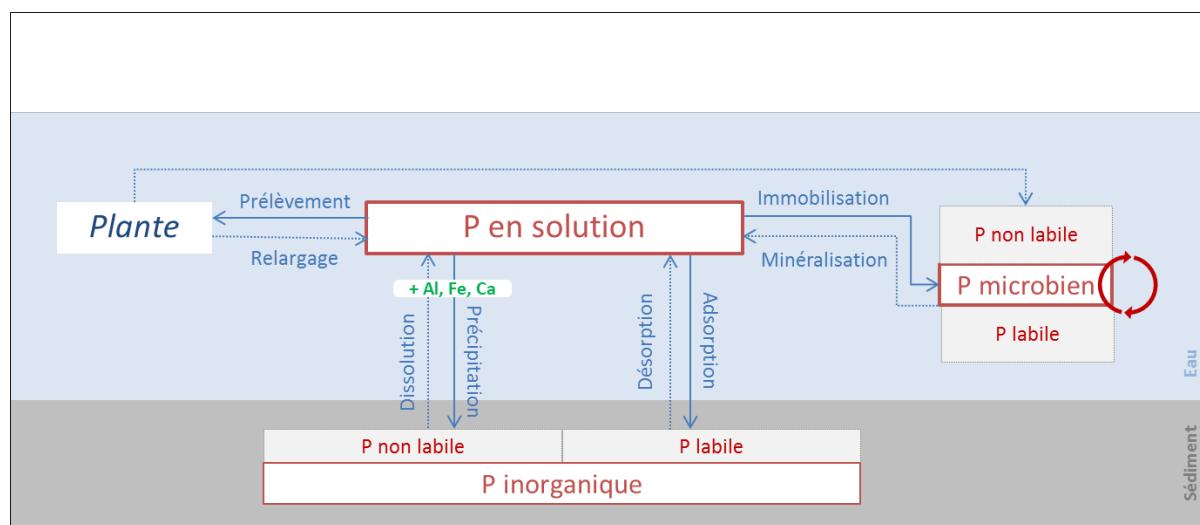


Figure 13 : Le cycle du phosphore dans la ZRV

Le phosphore total est composé du phosphore organique, plutôt lié au MES, et des orthophosphates solubles. Seule une petite partie du phosphore total est accessible aux plantes et aux organismes vivants. Ce phosphore biodisponible est surtout présent en solution dans le sol sous forme d'ions orthophosphates directement assimilables par les plantes. Mais les ions orthophosphates peuvent aussi être attachés aux particules de sol ; cela implique qu'ils doivent s'en détacher pour passer en solution.

Dans son étude concernant l'élimination des nutriments dans divers types de zones humides artificielles [34], J.Vymaz rappelle les mécanismes principaux d'élimination du phosphore :

*Les mécanismes de transformations du phosphore au cours du traitement des eaux usées dans les zones humides artificielles comprennent l'adsorption, la désorption, la précipitation, la dissolution, l'absorption végétale et microbienne, la fragmentation, le lessivage, la minéralisation, la sédimentation (accumulation de tourbe) et l'enfouissement. Les principaux procédés d'élimination du phosphore sont la sorption, la précipitation, l'absorption des plantes (avec récolte ultérieure) et l'accrétion de la tourbe et du sol. Cependant, les trois premiers processus sont saturables et*

*I'accrétion du sol ne se produit que dans les zones humides avec une surface d'eau libre. L'élimination du phosphore dans tous les types de terres humides construites est faible, à moins que des substrats spéciaux à haute capacité de sorption soient utilisés.*

*J.Vymaz - Removal of nutrients in various types of constructed wetlands [34] – (Traduction)*

Ces mécanismes sont confirmés par la synthèse bibliographique effectuée en 2011 lors d'un partenariat ONEMA / IRSTEA (Cemagref) étudiant le rôle de l'hydromorphologie sur les nutriments dans les cours d'eau [28] :

*Du fait de l'absence de phase gazeuse, le phosphore ne peut être éliminé des milieux aquatiques que par l'intermédiaire des capacités de stockage. Il peut être stocké de manière plus pérenne dans les sédiments lorsqu'il se combine à d'autres ions dans les particules du sol (fer, aluminium...). Toutefois, cette forme de stockage dépend d'une part, des caractéristiques d'oxydoréduction du sédiment et d'autre part du régime hydrologique du cours d'eau. Les crues qui mobilisent les sédiments peuvent remettre en suspension les nutriments qui y étaient fixés. D'une manière générale au fur et à mesure de l'enfoncement des sédiments, les conditions deviennent majoritairement anoxiques, limitant les possibilités de fixation du phosphore.*

[...]

*La capacité de fixation par les particules du sol va dépendre de la charge en phosphore, de l'abondance de surfaces réactives (argiles...), de la présence d'ions susceptibles de fixer le phosphore (Ca, Fe, Al selon le pH) et de la teneur en matière organique (Dorioz and Trevisan 2008). Cette capacité peut toutefois tendre vers la saturation sous l'effet d'apports importants cumulés, ce qui accroît la teneur en ions phosphates dans la solution du sol et le risque de leur transfert vers l'environnement*

*ORaison F. et al. - Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments : une voie commune ? [28]*

Dans le cadre de l'étude des ZRV, on retiendra que les ions orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) sont la seule forme utilisée directement par les macrophytes et les algues.

Dans une zone en eau, le phosphore réactif soluble est absorbé <sup>[def.]</sup> par les plantes ou peut être sorbé <sup>[def.]</sup> dans les sols et sédiments des zones humides.

Dans tous les cas, la sorption <sup>[def.]</sup> et le stockage dans la biomasse sont des processus saturables, ce qui signifie qu'ils ont une capacité limitée et ne peuvent donc contribuer à l'élimination durable à long terme.

La forme organique du phosphore peut être libérée en phosphore soluble si la matrice organique est oxydée.

Ainsi, sans évacuation des capacités stockées (sédiment, biomasse), le phosphore peut être relargué dans les eaux.

## 4.2 L'abattement bactériologique dans les eaux douces superficielles

Dans le cadre de l'étude, l'aspect bactériologique sera étudié au travers des concentrations en E.coli, qui sont considérées comme le meilleur indicateur d'une contamination récente du milieu aquatique, et de ce fait utilisées dans les normes sanitaires.

Escherichia coli (E. coli) est une bactérie que l'on trouve couramment dans le tube digestif de l'être humain. La plupart des souches sont inoffensives. Certaines en revanche peuvent provoquer de graves maladies d'origine alimentaire. L'abattement bactériologique peut donc être un motif d'implantation de ZRV pour des raisons sanitaires telles que la protection de zones à usages sensibles (baignade, alimentation en eau potable, conchyliculture, pêche à pied, pisciculture...).

Les milieux naturels ouverts sont globalement inhospitaliers pour les germes bactériologiques tels qu'E.coli. On observe une décroissance rapide de leur nombre sous l'action conjointe de différents facteurs (température, carence en nutriments, concentration en MES, lumière (UV) et prédatation par les bactériophages...)

Cette décroissance est souvent qualifiée de « survie ». La survie des germes dans l'environnement est évaluée par le T90, qui correspond au temps nécessaire (en heures) pour obtenir un abattement de 90% du nombre de germes. En eau douce, la mortalité bactérienne et le T90 atteindraient des valeurs de l'ordre de 24h à 48h.

A cette mortalité, caractérisée par le T90, s'ajoutent les phénomènes de dilution et de diffusion, qui contribuent fortement à la diminution de la charge bactérienne.

Une thèse a été menée en 2006 sur la dynamique des Escherichia coli dans les rivières du bassin de la Seine [19].

*Les processus contrôlant le devenir de ces bactéries dans l'environnement aquatique peuvent être divisés en : processus hydrodynamiques, biotiques et physiologiques.*

*Dans les milieux aquatiques, les divers paramètres physico-chimiques et biologiques évoqués précédemment combinent leurs actions, il est donc très difficile de reproduire en laboratoire ce qui se passe dans l'environnement. [...]*

*L'impact de la lumière sur les bactéries fécales est très « site dépendant ». En effet, il dépend : (i) de l'intensité de l'irradiation solaire ; (ii) de la profondeur du milieu aquatique considéré, l'effet de la lumière sur l'ensemble de la colonne d'eau décroissant en effet avec sa hauteur; (iii) de la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau qui est atténuée par la présence de MES et de matières organiques dissoutes, telles que les acides humiques.*

*A côté des effets de la température et de la lumière décrits ci-dessus, la carence en nutriments, la salinité et le pH ont également un impact sur l'état physiologique des bactéries fécales rejetées dans le milieu aquatique.*

*Un des processus importants pour la dynamique des bactéries fécales en milieux naturels est l'attachement aux particules. En effet, les bactéries attachées peuvent, comme les particules, sédimer et être remises en suspension, de plus l'attachement d'une bactérie fécale à une particule pourrait la protéger de différents facteurs létaux tels que la lumière, le broutage par les protozoaires ou la carence en nutriments. Plusieurs études montrent que les sédiments sont un réservoir très important de bactéries fécales qui peuvent être remises en suspension. [...]*

*Des nombreux auteurs s'accordent à dire que la survie des bactéries fécales est meilleure dans les sédiments que dans la colonne d'eau*

*T.GARCIA-ARMISEN - Étude de la dynamique des Escherichia coli dans les rivières du bassin de la Seine [19]*

Cette étude montre que les processus responsables de la décroissance de la population bactériologique dans les eaux de surface sont multiples et peuvent se combiner. L'auteur insiste particulièrement sur les mécanismes d'attachements aux particules qui réduisent l'abattement de la population.

Une régression linéaire a été trouvée entre le pourcentage de bactéries E.coli attachées aux particules et la concentration en MES de l'eau.

**Une corrélation entre survie des bactéries E.coli et teneur en MES est supposée.**

À noter qu'une étude bibliographique de l'INRA précise que pour certains pathogènes tels que E.coli, la rhizosphère de certaines plantes pourraient correspondre à un réservoir environnemental rassemblant les conditions trophiques favorables à la survie de ces pathogènes.

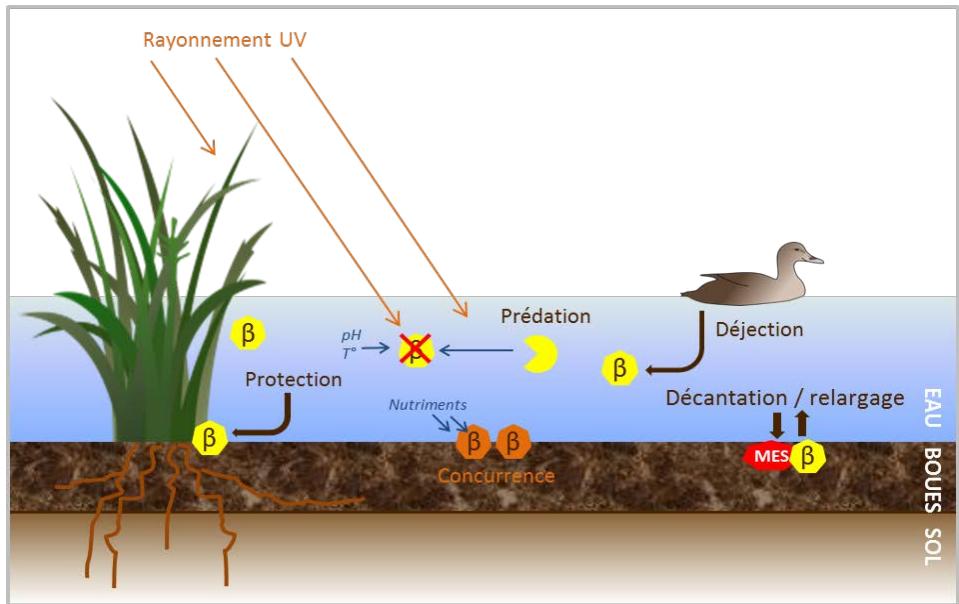


Figure 14 : Mécanismes relatifs aux bactéries fécales dans les ZRV

### 4.3 L'évaporation et évapotranspiration

Dans le cadre de l'étude, deux phénomènes sont à prendre en considération :

- **L'évaporation** qui correspond à la perte d'eau liée à la transformation de l'eau liquide en vapeur d'eau au niveau des surfaces libres (eau ou sol, ici principalement miroir d'eau des ouvrages).
- **L'évapotranspiration** qui correspond à la somme de l'évaporation au niveau des surfaces d'eaux libres et aux pertes en eaux liées à la transpiration des plantes. Elle définit le transfert d'eau sous forme de vapeur du compartiment étudié (ici la ZRV) vers l'atmosphère.

L'évaporation et l'évapotranspiration se mesurent en millimètre d'eau (mm) qui peuvent être rapportés à une unité de temps pour calculer un flux.

Dans une analyse globale des flux hydrauliques soustrait du rejet de la ZRV, l'évapotranspiration sera évaluée dans son ensemble, les deux mécanismes que sont l'évaporation et la transpiration étant difficiles à dissocier.

La valeur maximum de la moyenne mensuelle d'évapotranspiration dans une étude effectuée en Savoie est de 12,6 mm/j (Chazarenc et al., 2003 [12]).

Si on considère les études faites sous des latitudes et des conditions climatiques plus proches de celles du bassin Adour-Garonne, on trouve des résultats d'études qui montrent des pics d'évaporation en été d'environ 38 et 60 mm/j dans des lits plantés de roseaux dans l'ouest de l'Italie (Venise) et le nord-ouest de l'Espagne (Léon) (Pedescoll et al., 2013 [30], Borin et al., 2011 [8]).

Même si ses études montrent que l'évapotranspiration peut atteindre jusqu'à 60 mm/j, la valeur la plus couramment admises sous nos latitudes est de **10 à 15 mm/j en période estivale, soit pas plus de 10 à 15 l/m<sup>2</sup> de ZRV par jour**.

Les pertes de volume liées à l'évapotranspiration vont donc être relativement faibles, en plus d'être très variables dans le temps.

En hiver, on peut supposer que le mécanisme d'évapotranspiration est négligeable.

## 4.4 L'infiltration

Comme vu au paragraphe 2.3, la majorité des ZRV sur le bassin Adour-Garonne ont un objectif de diminution total ou partiel des débits rejetés au milieu récepteur superficiel. Dans la plupart des cas, le mécanisme mis en avant pour atteindre cet objectif est l'infiltration des eaux dans le sol.

Les nombreux retours d'expérience, que ce soit de la part des SATESE, maitres d'œuvres ou concepteurs montrent que malgré des études de sol préliminaires et des marges de sécurité importantes, la diminution du volume rejeté n'est pas souvent à la hauteur du prévisionnel.

Ce constat est le même à l'échelle de la France, c'est pourquoi dans le cadre de leur partenariat, l'AFB (ex-Onema) et l'IRSTEA ont publié en 2014 un document sur le sujet : *L'infiltration d'eau usée traitée dans le sol pour les ZRV : revue bibliographique, objectifs de l'étude, moyens et méthodes mis en œuvre*.<sup>[29]</sup>

Nous présentons ici la synthèse de la revue bibliographique de ce document :

*Le sol est a priori un milieu propice à un traitement complémentaire des eaux usées traitées mais il peut se révéler être, suivant sa nature, un milieu très fragile si les charges hydrauliques et organiques appliquées dépassent les capacités du sol. Cela peut se traduire par un colmatage superficiel et/ou par des phénomènes de dispersion et de relargage de certaines substances préalablement adsorbées ou faisant partie de la matrice argileuse. Enfin, la qualité du traitement peut être réduite par l'apparition de conditions anaérobies et par l'existence et/ou le développement d'écoulements préférentiels qui court-circuitent une partie de la matrice poreuse et entraînent substances solubles et colloïdes profondément dans le sol.*

*FORQUET N. et al. - L'infiltration d'eau usée traitée dans le sol pour les ZRV : revue bibliographique, objectifs de l'étude, moyens et méthodes mis en œuvre* [29]

L'infiltration est un procédé difficilement maîtrisable ou quantifiable car il dépend de différents paramètres, notamment l'hétérogénéité des sols (naturels ou remblayés), la qualité de l'eau entrant dans la ZRV, sa teneur en MES, ...

Un colmatage physique (MES, colloïdes) ou biologique (création d'un biofilm imperméable) conduisent progressivement à une diminution de l'infiltration.



## PARTIE 2 :

### ETUDE DE CAS

# 5 Matériels et méthodes

Pour répondre aux objectifs de l'étude, l'agence de l'eau Adour Garonne a souhaité s'appuyer sur un suivi météorologique de sites réels en fonctionnement afin notamment d'essayer de quantifier sur ces sites les phénomènes en jeu dans certains compartiments et d'évaluer l'impact sur les milieux récepteurs.

## 5.1 Choix des sites

Lors de la phase préparatoire, onze sites présélectionnés en collaboration avec l'AEAG et répartis sur six départements du bassin Adour-Garonne ont fait l'objet d'une visite.

Les critères de choix retenus pour la sélection des sites ont été les suivants :

- Système avec peu de perturbations extérieures
- Possibilité d'installer les équipements de mesures
- Zone végétalisée
- Présence d'un rejet permanent permettant de quantifier les flux en sortie d'ouvrage
- Possibilité de mesure sur le milieu récepteur (cours d'eau ou sol)
- Variété des morphologies
- Éviter les cas trop spécifiques

Ces visites ont permis de **sélectionner les 5 sites** qui se prêtaient le mieux aux objectifs d'évaluation définis dans le cadre de l'étude :

- Meyssac - Corrèze (19)
- Caillac - Lot (46)
- Montans - Tarn (81)
- Bascons - Landes (40)
- Saint Romain - Charente (16)

Un sixième site, en début de travaux lors du lancement de l'étude, a également été retenu. :

- Mios ; Gironde (33),

Il s'agit d'un concept de zone déposé par SUEZ sous le terme *Zone Libellule®*. **En l'absence de rejet au milieu récepteur superficiel, ce site n'est pas considéré comme une ZRV mais comme une zone d'infiltration.** Il a fait l'objet d'un protocole de mesure particulier. Face aux problématiques spécifiques et aux difficultés de suivi rencontrés (§5.2.4), le suivi de ce site a été abandonné.

Le Tableau 2 page suivante présente succinctement les caractéristiques des 5 sites suivis.

Tableau 2 : Récapitulatif du suivi 2015 des sites

Caractéristique de la station d'épuration							Caractéristique de la ZRV							Etude prévues	
Commune	Schéma	Type STEU	Capacité	Débit nominal	Type de réseau amont	Année mise en service	Type de ZRV	Alimentation de la ZRV	Objectif affiché de la ZRV	Surface en eau	Temps de séjour théorique <sup>1</sup>	Rejet permanent	Période de fonctionnement	Milieu récepteur	Compartiments étudiés
Meyssac (19)		Boues activées	4770 EH	552 m3/j	pseudo séparatif très sensible aux eaux claires parasites	Année 2012	Noues et bassins	sortie STEU + trop plein PR + pluvial	affinage traitement, tampon	4340 m <sup>2</sup> (estimation) Soit 0,9 m <sup>2</sup> /EH	2,7 à 3,4 jours	Oui	toute l'année	Ruisseau sans nom (BV Dordogne)	Eaux de surface ZRV Milieu récepteur eaux de surface Boues Sol Faune/Flore
Caillac (46)		Boues activées	5000 EH	750 m3/j temps sec Max 1075 m3/j	séparatif sensible aux ECP	Année 2009	Noues + bassins	sortie STEU uniquement	infiltration partielle et abattement bactériologique	2100 m <sup>2</sup> (estimation) Soit 0,4 m <sup>2</sup> /EH	2,9 à 4,4 jours	Non	mars à novembre	Le Lot	Eaux de surface ZRV Eaux infiltrées dans le sol Nappe souterraine Boues Sol Faune/Flore
Montans (81)		FPR bi-filtre	500 EH	75 m3/j	unitaire	Année 2007	Bassins	sortie STEU + trop plein du poste d'entrée	affinage traitement, tampon	200 à 250m <sup>2</sup> (estimation) Soit 0,5 m <sup>2</sup> /EH	1,0 à 1,1 jours	Oui	toute l'année	Ruisseau de Banis (bassin versant du Tarn)	Eaux de surface ZRV Milieu récepteur eaux de surface Boues Sol Faune/Flore
Bascons (40)		FPR un étage	300 EH	54 m3/j	séparatif	Année 2011	Roubines avec bambous	sortie STEU uniquement	Évapo-transpiration (zéro rejet)	742 m <sup>2</sup> (donnée constructeur) Soit 2,5 m <sup>2</sup> /EH	6,4 à 7,4 jours	Non	mai à octobre	Fossé	Eaux de surface ZRV Eaux infiltrées dans le sol Nappe souterraine Boues Sol Faune/Flore
Saint-Romain (16)		FPR un étage avec recirculation	400 EH	64 m3/j	séparatif	Année 2010	Noues plantées de roseaux	sortie STEU uniquement	affinage traitement	200 à 250m <sup>2</sup> (estimation) Soit 0,5 m <sup>2</sup> /EH	2,8 jours	Oui	toute l'année	Fossé alimenté par mare	Eaux de surface ZRV Milieu récepteur eaux de surface Boues Sol Faune/Flore

<sup>1</sup> Temps de séjour théorique, calcul basé sur l'estimation du volume en eau maximal de la ZRV (sans végétation ni sédimentation) et les valeurs min et max des débits moyens journaliers mesurés.

## 5.2 Protocole de mesure

### 5.2.1 Suivi effectué

Le protocole de mesure mis en œuvre pour les suivis des sites est présenté dans le Tableau 3. Il a été validé en comité de pilotage lors de la phase préparatoire de l'étude.

Tableau 3 : Opérations effectuées lors des suivis, type et fréquence

Matrice et Points concernés		Type de mesures	Analyses / mesures réalisées	Fréquence	Nbre de sites concernés	Objectif
ZRV	<b>Eau de surface</b> Entrée / sortie + points intermédiaires	Prélèvement 24h	pH, Conductivité, MES, DCO, DBO5, (COT), NTK, NH4, NO3, NO2, Pt, PPO4, (Cl <sup>-</sup> )	x 2 jours 4 fois /an	5	Évaluer l'impact de la ZRV sur l'hydraulique et sur la qualité de l'effluents en sortie STEU
	<b>Eau de surface</b> Entrée / sortie + points intermédiaires	Prélèvement ponctuel	E.coli	x 2 jours 4 fois /an	5	
	<b>Eau de surface</b> Entrée / sortie	Mesures en continu*	pH, Conductivité, Redox, Température, % saturation O <sub>2</sub> dissous	x 2 jours 4 fois /an	5	
	<b>Eau de surface</b> Entrée / sortie	Mesures en continu*	Mesure de débit	x 2 jours 4 fois /an	5	
	<b>Eau de surface</b> Entrée / sortie	Prélèvement 24h	Micropolluants (métaux, HAP, PCB, substances émergentes)	2 fois /an	2	
<i>Si infiltration démontrée :</i>						
Milieu récepteur souterrain	<b>Sol (eaux infiltrées)</b> lysimètres	Prélèvement ponctuel	pH, Conductivité, DCO, DBO5, (COT), NTK, NH4, NO3, NO <sub>2</sub> , Pt, PO <sub>4</sub> , (Cl <sup>-</sup> )	x 2 jours 4 fois /an	2	Évaluer le rôle du sol sur l'eau usée traitée infiltrée
	<b>Nappe</b> Piézomètres	Prélèvement ponctuel	pH, Conductivité, O <sub>2</sub> dissous, MES, DCO, DBO5, (COT), NTK, NH4, NO3, NO <sub>2</sub> , Pt, PO <sub>4</sub> , (Cl <sup>-</sup> )	x 2 jours 4 fois /an	2	Évaluer l'impact de la ZRV sur la nappe
	<b>Nappe</b> Piézomètres	Mesure ponctuelle	Profondeur de la nappe	4 fois /an	2	
<i>Si rejet au milieu superficiel :</i>						
Milieu récepteur superficiel (cours d'eau, fossé)	<b>Eau de surface</b> Amont et aval rejet	Prélèvement 24h	MES, DCO, DBO5, COD, NTK, NH4, NO3, NO <sub>2</sub> , Pt, PO <sub>4</sub>	2 fois/an	3	Évaluer le rôle de l'impact du système STEU + ZRV sur le milieu récepteur
	<b>Eau de surface</b> Amont et aval rejet	Prélèvement ponctuel	E.coli	2 fois/an	3	
	<b>Eau de surface</b> Amont et aval rejet	Mesures ponctuelles	pH, Conductivité, Redox, Température, % saturation O <sub>2</sub> dissous	2 fois/an	3	
	<b>Eau de surface</b> Amont et aval rejet	Mesures ponctuelles	Mesure de débit	2 fois/an	3	
	<b>Eau de surface</b> Amont et aval rejet	Etat écologique	IBD	2 fois/an	3	

\* Mesure en continu pendant la période de prélèvement

#### Commentaires :

- Toutes les opérations sont prévues en **période de temps sec**
- L'analyse du potentiel d'oxydoréduction (redox) dans les prélèvements d'eau a été abandonnée après la première année : les résultats laboratoire étaient très éloignés des valeurs enregistrées en continu. La double mesure de ce paramètre ne revêtait pas d'intérêt particulier.
- Lors de la troisième et dernière année de mesure (2015), l'analyse du COT a été arrêtée car difficilement interprétable. Une analyse du chlore (Cl) dans les prélèvements d'eau a été ajoutée. Le chlore étant un élément conservatif, cette mesure a permis d'appréhender les phénomènes de dilution dans la ZRV.
- L'analyse des MES dans les eaux prélevées dans les lysimètres, initialement prévue au protocole, n'a pas été mise en œuvre car incompatible avec le mode de prélèvement (prélèvement au travers d'une membrane poreuse).

#### Autres paramètres évalués :

Afin d'avoir une vision d'ensemble du système « ZRV », d'autres paramètres ont été intégrés au suivi des 5 sites existants (Tableau 4).

Tableau 4 : Autres paramètres de suivi des ZRV

Paramètre évalué	Quels sites ?	Mesure réalisée	Localisation	Fréquence
Intensité lumineuse	Tous	Mesure en continu durant les prélèvements	A proximité des prélèvements	A chaque campagne
Pluviométrie	Tous	Mesure des précipitations journalières durant campagne	A proximité des prélèvements	A chaque campagne
Faune / Flore	Tous	Inventaire	-	1 fois par an
Conductivité hydraulique du sol	Tous	Test de perméabilité « doubles anneaux adaptés »	Fond de noues et de bassins	1 fois par an
Boues (qualité)	Si accumulation de boues	Analyse physico-chimique (ETM, HAP, PCB)	Entrée ZRV	Ponctuellement
Boues (quantité)	Si accumulation de boues	Mesure d'accumulation avec tige à sédiment	Divers points ZRV	A chaque campagne de mesures

### 5.2.2 Planification et récapitulatif des opérations effectuées

Les opérations de suivi in-situ des 5 ZRV se sont échelonnées **sur 3 ans, de juin 2013 à novembre 2015**.

Le protocole retenu a été réalisé sur 4 campagnes annuelles effectuées lors de période « clés » pour la végétation :

- Mai : reprise de la végétation après la phase d'hivernage
- Juin : optimum de croissance
- Août : phase végétative stabilisée
- Novembre : début de la sénescence *[def.]*

En 2013, seules trois campagnes ont été effectuées (juin, août, novembre), en 2014 et 2015, 4 campagnes ont été mises en œuvre.

Au total, **11 campagnes de mesures de 2 jours** ont été effectuées sur chaque site.

Les détails des opérations effectuées par site et par campagne sont donnés en ANNEXE B1 : Tableau récapitulatif

des suivis effectués.

Le Tableau 5 synthétise le nombre d'opérations de chaque type effectué par site :

Tableau 5 : Synthèse des opérations effectuées par site

	CAILLAC	MEYSSAC	MONTANS	BASCONS	SAINT-ROMAIN	Total général
<b>Nombre de campagnes</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>55</b>
ZRV - Mesure de débit entrée sortie	11	11	11	10	11	<b>54</b>
ZRV - Suivi en continu paramètres physico-chimiques entrée sortie	11	11	11	11	11	<b>55</b>
ZRV - Prélèvement 2x24h +Analyses physico-chimique et bactério	11	11	11	11	11	<b>55</b>
ZRV - Prélèvement 24h +Analyses micropolluants	/	/	4	/	4	<b>8</b>
Lysimètre - Prélèvements ponctuel +Analyses physico-chimique et bactério	4	/	/	7	/	<b>11</b>
Milieu récepteur - Débit Amont/ Aval	/	6	6	/	6	<b>18</b>
Milieu récepteur - Prélèvements ponctuels + Analyses physico-chimique et bactério	/	6	6	/	6	<b>18</b>
Milieu récepteur - Indice IBD	/	2	3	/	2	<b>10</b>
Nappe - Prélèvements ponctuels + Analyses physico-chimique et bactério	6	/	/	5	/	<b>11</b>
Boues - Mesure de hauteur	6	11	11	11	6	<b>45</b>
Boues - Prélèvements ponctuels et analyse ETM, HAB, PCB	2	3	3	3	2	<b>13</b>
Sol - Mesure du coef. de perméabilité	2	2	2	2	2	<b>10</b>
Inventaire Faune / Flore	7	7	7	7	6	<b>34</b>
Intensité lumineuse - Suivi variation flux de photons actifs pour la photosynthèse	10	10	10	10	9	<b>49</b>

Commentaire :

- Sur chacun des 5 sites, 11 campagnes de mesures ont été effectuées, avec 2 jours de suivi par campagne, soit un total de **110 bilans 24h entrée / sortie ZRV**.
- Sur Bascons, le nombre de suivi des débits s'élève à 10 puisque lors d'une campagne le rejet était nul.
- Les mesures sur le milieu récepteur superficiel ont été réalisées (sur les sites où elles étaient pertinentes : Montans, Meyssac et St Romain), deux fois par an, en période de basses eaux (août) et à l'automne (novembre), soit **6 suivis par site en 3 ans**.
- Les analyses de micropolluants ont été effectuées à partir de l'année 2014 **sur 2 sites sélectionnés (Montans et Saint Romain)**, deux fois par an (août et novembre), soit **4 bilans par site réalisés en 2 ans**.
- Pour les autres suivis, le nombre d'interventions dépend des conditions particulières rencontrées sur chaque site et à chaque campagne.

### 5.2.3 Matériel utilisé

Le Tableau 6 référence la liste du matériel utilisé au cours des 3 ans de suivi.

Tableau 6 : Référence du matériel utilisé lors des campagnes

Matériel	Marque et Référence
Débitmètre Bulle à bulle	Hydreka Sigma 950 B
Préleveur isotherme	Hydreka Sigma mono-flacon 9 litres
Préleveur réfrigéré	Hydreka SIGMA 900P mono-flacon 17 litres
Manchon déversoir	Hydreka Ø250 et Ø150 à déversoir triangulaire 53°8'
Sonde oxygène	Ponsel capteur numérique optique OPTOD
Sonde pH-Redox	Ponsel capteur numérique PHEHT
Sonde conductivité	Ponsel capteur numérique C4E
Enregistreur numérique	Ponsel Odéon
Lysimètre	SDEC lysimètre à céramique poreuse SPS 200 Ø63mm
Sonde d'intensité lumineuse	DeltaOHM photo-radiomètre HD 2102.2
Courantomètre électromagnétique	BFM 801

### 5.2.4 Incertitude de mesure et limite de quantification

Les tableaux en ANNEXE A2 présentent pour chaque matrice et paramètres analysés la limite de quantification atteinte par le laboratoire et l'incertitude de mesure.

## 5.3 Difficultés rencontrées

### 5.3.1 Adaptations du protocole

Au fur et à mesure des campagnes de mesure sur le terrain, le protocole théorique initial s'est avéré parfois difficile à mettre en œuvre. Il a donc été adapté pour permettre l'obtention des données.

Les modifications suivantes ont été apportées au cours de l'étude, après validation par le comité de pilotage :

- Suppression de points de mesures intermédiaires dont l'intérêt a été jugé trop limité, ajout de points pour confirmer des données.
- Mise en place d'une analyse des micropolluants l'année n+1,
- Abandon du suivi de la perméabilité des sols l'année n+2 (test double anneau adapté), la méthodologie étant complexe pour les sols très peu perméables des sites étudiés.
- Abandon du suivi des lysimètres et piézomètres l'année n+2, car l'interprétation des données s'avère dépendante de trop de paramètres extérieurs.
- Réalisation du curage des boues des ZRV de deux sites, selon le protocole décrit en ANNEXE A6.

### 5.3.2 Problèmes de suivi récurrents

#### a. Impact des précipitations

Bien que les campagnes de mesure aient été programmées au mieux en fonction de la météo, la pluviométrie est venue perturber les mesures à plusieurs reprises avec des apports d'eaux claires parfois importants.

Lors des campagnes de mesure, les fortes pluies ont provoqué, selon les sites :

- La dilution des effluents, avec des concentrations en entrée des ZRV inférieures aux limites de quantification ;
- Des débordements d'ouvrages ;
- La perturbation du suivi physico-chimique des eaux brutes et traitées (pH, redox, O<sub>2</sub> ...) ;
- La perturbation du suivi des débits entrée / sortie ZRV ;
- Des lessivages possibles de la STEU et/ou de la ZRV.

#### b. Dysfonctionnements des ouvrages

D'autres problèmes récurrents sont venus perturber les mesures

- Arrivées d'effluents industriels non tamponnés (Meyssac) ;
- Dysfonctionnements ponctuels de la station d'épuration (Meyssac, Caillac) ;
- Obstructions des liaisons hydrauliques avec mise en charge de la ZRV (Meyssac, Caillac) ;
- Dysfonctionnement hydraulique de la ZRV (débordements, court circuits...) (tous les sites) ;
- Suspicion d'entrée d'eaux claires parasites non quantifiables (drainage, remontée de nappe) dans la ZRV, conduisant à une augmentation des volumes et à une dilution des effluents (Bascons, Saint-Romain, Meyssac ?)

#### c. Suivi des milieux récepteurs

Des difficultés liées à la quantité d'eau prélevée ont perturbé le suivi du milieu récepteur :

- **Milieu récepteur souterrain** : absence de renouvellement des eaux dans les piézomètres et difficulté de prélever des volumes suffisants pour analyse dans les lysimètres (conductivité hydraulique des sols trop faible et/ou saturation en eau insuffisante).
- **Milieu récepteur superficiel** : étiage très sévère en 2014 et 2015 avec des cours d'eau en assec ou stagnants, ne permettant pas des analyses correctes.

## 5.4 Traitement de la donnée

### 5.4.1 Analyse des résultats bruts

Dans un premier temps l'évaluation est basée sur la comparaison des valeurs mesurées en entrée et en sortie du système. Il s'agit de s'appuyer sur les campagnes de mesures réalisées au cours de l'année pour dégager une tendance générale dans l'évolution des paramètres suivis.

Les termes de « baisse », « diminution », « hausse », « augmentation », etc., s'entendent :

- en termes d'unité pour les paramètres physico-chimiques et concentration pour les polluants,
- pour la comparaison des valeurs mesurées entre l'entrée et la sortie, ou l'amont et l'aval du compartiment étudié.

Pour les cours d'eau ou fossés susceptibles d'être impactés par le rejet de la ZRV, le code couleur est basé sur l'évaluation de l'état physico-chimique des eaux de surface telle que défini :

- **Pour les paramètres de la DCE**, dans *l'arrêté du 25 janvier 2010 modifié par l'arrêté du 27 juillet 2015 [E]*,
- **Pour la bactériologie (E.coli)**, par le classement des eaux de baignade selon l'annexe I de la directive 2006/7/CE [G].
- **Pour les autres paramètres**, par le système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (grilles d'évaluation SEQ-Eau version 2, mars 2003).

Les limites pour chaque paramètre sont rappelées au paragraphe 3.4.

Classe d'état :	TRES BON	BON	MOYEN	MEDIOCRE	MAUVAIS
-----------------	----------	-----	-------	----------	---------

La méthodologie d'évaluation est basée sur la comparaison des concentrations et des flux entrée / sortie ZRV.

## 5.4.2 Calculs d'incertitudes et traitement statistique des données

Compte tenu des faibles concentrations en jeu et des variations temporelles de concentration mesurées sur certains sites, une méthodologie de validation de données a été élaborée afin de conclure au caractère significatif des baisses ou hausses des valeurs mesurées en entrée et en sortie des systèmes.

Dans le cadre de cette étude, l'incertitude est l'estimation des erreurs qui se produisent lors de l'échantillonnage et/ou des mesures. La constitution d'un échantillon moyen et les instruments de mesure n'étant pas de précision infinie, les mesures réalisées pendant une expérience ne sont pas exactes. Il faut donc évaluer ces incertitudes.

### a. Méthode de calcul retenue

Ce traitement des données concerne le calcul des rendements sur concentration, des rendements sur débit et des rendements sur flux. Le détail de la méthodologie retenue est donné en ANNEXE A4.

On retiendra :

- Si le résultat d'analyse est exprimé sous la forme Valeur  $\pm$  Incertitude étendue, dans les calculs, nous évaluerons l'incertitude-type ( $u$ ) sur le résultat d'analyse  $u = (\text{Incertitude étendue} / 2)$
- Dans cette étude, **un résultat inférieur à la limite de détection (LD) est considéré comme égal à zéro.**
- Dans cette étude, si le résultat est exprimé sous forme de limite de quantification ( $< LQ$ ) il est considéré que toutes les valeurs entre 0 et la LQ ont même probabilité d'apparition (distribution rectangulaire). **Pour les calculs on considèrera qu'une valeur  $< LQ$  est égale à la LQ.**
- Habituellement, l'incertitude sur la concentration est calculée à partir de l'incertitude d'échantillonnage et l'incertitude sur l'analyse. Lors du COPIL restreint du 22 avril 2014, **il a été décidé de prendre en compte uniquement l'incertitude d'analyse dans le calcul du rendement sur concentration.**
- Habituellement, l'incertitude sur le débit est calculée à partir de l'incertitude de l'appareil de mesure ainsi que l'incertitude relative aux seuils. Lors du COPIL restreint du 22 avril 2014, il a été décidé de **prendre en compte seulement l'erreur de l'appareil de mesure.**

Les formules de calcul des incertitudes de rendement retenues sont les suivantes (détails en ANNEXE A4):

Tableau 7 : Formules de calcul des incertitudes de rendements consolidés

Rendement sur concentration	Rendement sur flux	Rendement sur débit
$\frac{uR_C}{R_C} = \sqrt{\left(\frac{uC_s}{C_s}\right)^2 + \left(\frac{uC_e}{C_e}\right)^2}$ <p>avec :</p> <p><math>u</math> : incertitude type  <math>R_C</math> : rendement sur concentration  <math>C_s</math> : concentration en sortie  <math>C_e</math> : concentration en entrée</p>	$\frac{uR_F}{R_F} = \sqrt{\left(\frac{uF_s}{F_s}\right)^2 + \left(\frac{uF_e}{F_e}\right)^2}$ <p>avec :</p> <p><math>u</math> : incertitude type  <math>R_F</math> : rendement sur flux  <math>F_s</math> : flux en sortie  <math>F_e</math> : flux en entrée</p>	$\frac{uR_Q}{R_Q} = \sqrt{\left(\frac{uQ_s}{Q_s}\right)^2 + \left(\frac{uQ_e}{Q_e}\right)^2}$ <p>avec :</p> <p><math>u</math> : incertitude type  <math>R_Q</math> : rendement sur débit  <math>Q_s</math> : débit en sortie  <math>Q_e</math> : débit en entrée</p>

Les résultats sont exprimés sous la forme : **Résultat = Valeur  $\pm$  U(Valeur)**

avec  $U$  (valeur) égale à l'incertitude étendue correspondante à une probabilité de 95% que la valeur vraie soit contenue dans le domaine d'incertitude. La loi de distribution issue du calcul de propagation des incertitudes étant supposée normale, on retient  $U = k * u$  avec  $k=2$ .

### b. Incertitudes d'analyse considérées

Dans le cadre de cette étude, l'incertitude sur la mesure de la concentration (notée  $U_{analyse}$ ) d'un échantillon est donnée par le laboratoire d'analyse pour chaque paramètre et pour chaque méthode d'analyse, telle que définie au paragraphe 5.2.4.

Le laboratoire de Saverne applique les normes NF T 90-210 et NF ISO 11352 pour déterminer ces valeurs. Le principe de détermination de l'incertitude de mesure repose sur la combinaison de l'erreur aléatoire basée sur des données de contrôle qualité et de l'erreur systématique basée sur des données de validation de méthode.

Les incertitudes données correspondent aux valeurs des incertitudes calculées au niveau de la limite de quantification. Ces valeurs représentent donc des **valeurs sécuritaires maximales**.

Les incertitudes fournies sont également les valeurs des **incertitudes élargies** qui sont 2 fois plus élevées que les incertitudes non élargies.

### c. Incertitudes sur l'azote global

La concentration en azote global (NGL) est calculée comme la somme des concentrations en azote nitrique (NNO<sub>3</sub>), azote nitreux (NNO<sub>2</sub>) et azote Kjeldahl (NTK).

Ainsi, la limite de quantification pour ce paramètre est calculée comme la somme des limites de quantification de chacune des formes d'azote :

$$LQ_{NGL} = LQ_{NNO_3} + LQ_{NNO_2} + LQ_{NTK}$$

soit avec les paramètres d'analyse 2015,  $LQ_{NGL} = 1,21 \text{ mg N/l}$

L'incertitude relative sur l'azote global est prise de manière sécuritaire comme l'incertitude maximale de chaque forme de l'azote, soit avec les paramètres d'analyse 2015 : **15%**

### d. Incertitudes sur les débits

L'incertitude sur les débits considérée est l'incertitude moyenne déterminée par le service métrologie d'IRH Ingénieur Conseil. Elle est de 5% pour les mesures dites hauteur/débit.

## 5.4.3 Analyse des résultats consolidés

Les résultats des rendements sont exprimés sous la forme :

$$\text{Résultat} = \text{Valeur} \pm U(\text{Valeur})$$

avec  $U(\text{valeur})$  égale à l'incertitude étendue correspondante à une probabilité de 95% que la valeur vraie soit contenue dans le domaine d'incertitude.

Dans le cadre de cette étude, il est important de savoir si les rendements calculés sont significativement différents de 0 : dans ce cas, l'écart entre la grandeur en entrée et en sortie ZRV est significatif.

Trois types de résultat différents sont distingués dans l'analyse des données :

- **Paramètre non quantifiable (NQ)** : Dans ce cas, les concentrations en entrée et sortie de la ZRV sont inférieures à la LQ, et le rendement est nul : le paramètre étudié n'est pas quantifiable. Dans ce cas, il n'est pas possible de conclure sur l'influence de la ZRV.
- **Rendement non significatif (NS)** : le paramètre est mesuré en entrée et/ou en sortie de la ZRV à une concentration supérieure à la LQ, mais la variation de concentration ou de flux entre l'entrée et la sortie est faible, et se situe dans l'intervalle d'incertitude. Le rendement est considéré proche de 0. Dans ce cas, on peut conclure que la ZRV n'a pas ou peu d'influence sur le paramètre.

- **Rendement significatif**: le paramètre est mesuré en entrée et/ou en sortie de la ZRV à une concentration supérieure à la LQ. L'écart entre la concentration ou le flux entre l'entrée et la sortie est significatif, au-delà de l'intervalle d'incertitude. Dans ce cas on peut conclure que la ZRV à un impact significativement positif ou négatif sur le paramètre.

Les détails des calculs permettant de juger si le rendement est significatif ou non sont donnés en ANNEXE A4.

L'ensemble des résultats des calculs des rendements sur concentration et flux consolidés est présenté en ANNEXE B5.

## 5.5 Quelques calculs spécifiques

### 5.5.1 La lame d'eau « perdue »

L'objectif de ce calcul est d'évaluer les pertes par évapotranspiration et/ou infiltration dans la ZRV. La lame d'eau perdue est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Lame d'eau perdue (mm/j)} = ((Q_{\text{entrée}} - Q_{\text{sortie}}) / S_{\text{ZRV}}) * 1000 + H_{\text{pluie}}$$

Formule 1

Avec :

$Q_{\text{entrée}}$  : débit en entrée de la ZRV ( $\text{m}^3 / \text{j}$ )

$Q_{\text{sortie}}$  : débit en sortie de la ZRV ( $\text{m}^3 / \text{j}$ )

$S$  : surface en eau de la ZRV ( $\text{m}^2$ )

$H_{\text{pluie}}$  : hauteur de la pluie pendant la journée (mm / j)

### 5.5.2 L'azote et le phosphore théoriquement exportés par la végétation

#### a. L'azote

Brix (1994) [11] a documenté une exportation théorique de N équivalent à 0,055 à 1,37 g N/ $\text{m}^2/\text{j}$ .

L'exportation théorique de N dans une ZRV donnée est calculée selon la formule :

$$\text{Exportation théorique N (g/j)} = \text{exportation théorique} * S_{\text{ZRV}} * \text{Recouvrement}$$

Formule 2

Avec :

Exportation théorique : la valeur donnée par Brix (1994) (g N/ $\text{m}^2/\text{j}$ )

$S_{\text{ZRV}}$  : surface en eau de la ZRV ( $\text{m}^2$ )

Recouvrement : fraction de la ZRV recouvert par des végétaux

Les valeurs min et max correspondent aux calculs avec l'exportation théorique minimum (0,055) et maximum (1,37) respectivement.

Cette exportation théorique est ensuite comparée à la différence du flux entre l'entrée et la sortie (appelé « bilan flux » par la suite).

$$\text{Bilan flux N (g/j)} = (Q_{\text{entrée}} * C_{\text{entrée}}) - (Q_{\text{sortie}} * C_{\text{sortie}})$$

Formule 3

Avec :

$Q_{\text{entrée}}$  = débit en entrée de la ZRV ( $\text{m}^3 / \text{j}$ )

$C_{\text{entrée}}$  = concentration NGL en entrée ( $\text{g} / \text{m}^3$ )

$Q_{\text{sortie}}$  = débit en sortie de la ZRV ( $\text{m}^3 / \text{j}$ )

$C_{\text{sortie}}$  = concentration NGL en sortie ( $\text{g} / \text{m}^3$ )

L'écart type sur le bilan flux N (38 %) est calculé à partir de l'erreur sur flux (selon l'approche décrite en ANNEXE A4).

#### b. Le phosphore

La littérature est pauvre sur la capacité des plantes aquatiques à assimiler les orthophosphates. D'après les travaux de Vymazal (2007)[34], la végétation aquatique pourrait exporter de 3 à 15 g/m<sup>2</sup> de phosphore par an, soit 0.008 à 0.04 g/m<sup>2</sup>/j.

La méthode de calcul pour le phosphore est identique à celle de l'azote.

### 5.5.3 Calcul de l'impact qualitatif du rejet sur le milieu récepteur superficiel

Pour évaluer le rôle de la ZRV dans l'atteinte des objectifs de la DCE (bon état des cours d'eau), des calculs théoriques de l'impact du rejet sur le cours d'eau avec et sans ZRV ont été amorcés, afin d'estimer l'effet bénéfique ou non de la ZRV.

L'impact du rejet est calculé par une formule de dilution simple, selon les données suivantes :

Données mesurées :

**Août et novembre, durant la campagne, points amont et aval (~50m) du rejet :**

- Mesure débit cours d'eau au temps T
- Prélèvements ponctuels, analyse pH, MES, DCO, DBO, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, NTK, COD, PO<sub>4</sub>, Pt, E.coli
- Mesures ponctuelles pH, Redox, Conductivité, %O<sub>2</sub> dissous
- Analyse IBD en août à une date proche de la campagne

Données calculées :

**Qualité théorique des eaux de surface du milieu récepteur en aval du rejet de la ZRV :**

$$C_{aval\ théorique\ avec\ ZRV\ (mg/l)} = (C_{sortie} * Q_{sortie} + C_{amont} * Q_{amont}) / (Q_{sortie} + Q_{amont})$$

**Formule 1**

Avec :

$C_{entrée}$  = Concentration moyenne en sortie ZRV (mg/l) issue du bilan 24h

$Q_{entrée}$  = Débit moyen journalier en sortie de ZRV (m<sup>3</sup>/j) issu du bilan 24h

$C_{amont}$  = Concentration ponctuelle du cours d'eau en amont du rejet (mg/l)

$Q_{amont}$  = Débit instantanné du cours d'eau en amont du rejet (m<sup>3</sup>/jl)

Cette qualité théorique a ensuite été comparée à la qualité réelle des eaux du milieu récepteur en aval du cours d'eau, analysée sur un prélèvement ponctuel.

**Qualité théorique des eaux de surface du milieu récepteur en aval du rejet de la STEU sans la ZRV :**

$$C_{aval\ théorique\ sans\ ZRV\ (mg/l)} = (C_{entrée} * Q_{entrée} + C_{amont} * Q_{amont}) / (Q_{sortie} + Q_{amont})$$

**Formule 2**

Avec :

$C_{entrée}$  = Concentration moyenne en entrée ZRV équivalant à la sortie STEU (mg/l) issue du bilan 24h

$Q_{entrée}$  = Débit moyen journalier en entrée ZRV équivalant à la sortie STEU (m<sup>3</sup>/j) issu du bilan 24h

$C_{amont}$  = Concentration ponctuelle du cours d'eau en amont du rejet (mg/l)

$Q_{amont}$  = Débit instantanné du cours d'eau en amont du rejet (m<sup>3</sup>/jl)

## 5.6 Limite de l'étude et de l'interprétation des données

### 5.6.1 Suivi en conditions in-situ

Le suivi des cinq sites existants du bassin a été réalisé dans des conditions in-situ. Bien que de nombreux paramètres aient été étudiés pour prendre en compte de manière la plus exhaustive possible les variables dans les divers compartiments (eau, sol, plante, air), les mécanismes en jeu restent soumis à de nombreuses influences.

Aucune modification du process amont ou de son exploitation n'a été faite durant l'étude. Les campagnes de mesures sur les ZRV ont été effectuées sur les ouvrages dans des conditions de fonctionnement standard, qu'elles soient bonnes ou dégradées.

Le fait de ne pas travailler en conditions contrôlées (comme par exemple les conditions climatiques, les charges entrantes différentes d'un jour à l'autre, ...) complique l'interprétation et la généralisation des phénomènes mis en jeu.

Sur certains sites (comme Meyssac ou Caillac), la ZRV reçoit des concentrations faibles, parfois inférieures à la limite de quantification. Ces résultats compliquent l'analyse : de faibles variations de concentration entraînent une différence importante en termes de rendements.

### 5.6.2 Limite des analyses des eaux du sol (lysimètre et piézomètre)

Afin d'étudier l'influence des eaux infiltrées dans la ZRV sur la masse d'eau souterraine (nappe), des piézomètres ont été installés sur plusieurs sites.

En complément, des lysimètres (bougies poreuses) ont été également mis en place pour prélever les eaux infiltrées dans le sol à faible profondeur. Ces lysimètres devaient permettre d'étudier l'évolution des concentrations des eaux reçues par la ZRV et infiltrées dans le sol afin d'évaluer le rôle du sol dans l'épuration.

L'interprétation des résultats des lysimètres et piézomètres est finalement très complexe :

- À plusieurs reprises, le volume d'eau prélevé dans les lysimètres était nul ou trop faible pour permettre une mise en analyse.
- L'interprétation des résultats d'analyse des eaux des lysimètres ne permet pas de statuer entre l'influence du sol sur l'abattement des polluants ou les phénomènes de dilution liés au drainage du terrain.
- En ce qui concerne le suivi des piézomètres, dans le cas où le piézomètre en aval de la ZRV est situé à proximité d'un cours d'eau, on ne peut écarter l'idée d'un gradient hydraulique entre le cours d'eau et la nappe, qui influence la physico-chimie des eaux souterraines. Des écarts importants de température, conductivité et concentration en chlorures (élément conservatif) viennent conforter cette hypothèse.
- De même, il n'est pas possible de s'affranchir de l'influence des zones agricoles situées autour des ZRV, dont les eaux de lessivage peuvent contaminer la nappe entre les piézomètres amont et aval.

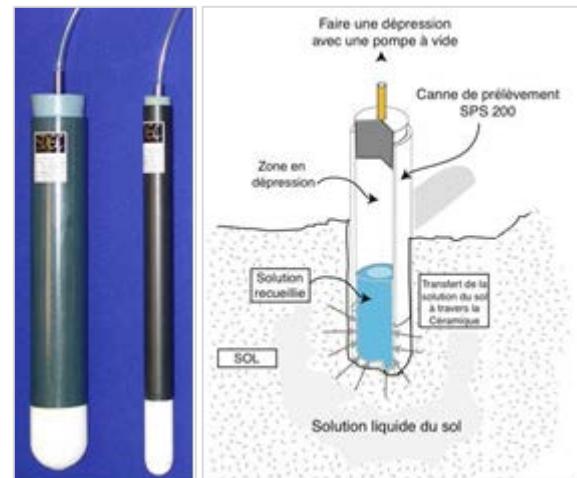


Figure 15 : Lysimètres et principe de fonctionnement ©SDEC

Le suivi des eaux de nappe et des eaux infiltrées à faible profondeur s'est avéré délicat.

Le sol étant un système ouvert, l'influence de paramètres extérieurs à la ZRV ne peut être écartée, le rôle du compartiment sol dans l'épuration des eaux infiltrées n'a donc pas pu être évalué dans cette étude.

En 2015, pour la troisième année de suivi, il a été décidé en comité de pilotage d'abandonner le suivi des eaux souterraines.

### 5.6.3 Limite de l'évaluation de l'impact sur le milieu rivière

Les ZRV suivies, comme la majorité des ZRV du bassin, ont toutes été construites en même temps que la station d'épuration.

En conséquence, l'état initial, à savoir l'impact du rejet de la station sur le milieu récepteur sans la ZRV, est indisponible. Les interprétations des mesures et calculs réalisés sont donc à prendre avec précautions.

À titre indicatif, la compilation des données par site présente pour les paramètres clés un comparatif des concentrations en sortie ZRV avec les valeurs de référence de la limite du bon état. Ce comparatif purement informatif ne témoigne pas de l'impact réel du rejet sur le milieu.

Des calculs théoriques de l'impact du rejet sur le cours d'eau avec ou sans ZRV ont été effectués tels que décrits au paragraphe 5.5.3. : « Calcul de l'impact qualitatif du rejet sur le milieu récepteur superficiel ».

Cependant, la concentration aval théorique (calcul de dilution) et réelle (prélèvement et analyse des eaux du milieu récepteur) ne concordent pas toujours.

Cette différence pourrait faire l'objet d'un travail de recherche à lui seul, pour déterminer la part de l'autoépuration des cours d'eau.

### 5.6.4 Limite des tests de perméabilité

L'objectif de cette mesure est de **déterminer la conductivité hydraulique (perméabilité) du sol noyé** au niveau des zones en eau de la ZRV, afin de calculer le potentiel d'infiltration de chaque site.

Un protocole particulier basé sur la méthode du test double anneau a été établi pour la mesure du coefficient de perméabilité en fond de noue ou bassin en eau. Il est détaillé en ANNEXE A5.

Au cours des deux années de mise en œuvre, ces tests ont montré leurs limites. En effet, les mesures réalisées avec la méthode du double anneau peuvent être influencées par plusieurs facteurs.

Tableau 8 : Limite du test double anneau

Facteur	Double anneau standard Sols initialement non saturés	Double anneau adapté Sols initialement saturés et milieu en eau
Végétaux présents à la surface du sol	Présence de racines et de végétaux dans la couche superficielle des sols. Augmentation de la pénétration de l'eau dans les sols.	Présence de racines de plantes aquatiques au droit du test. Augmentation de la pénétration de l'eau dans les sols.
Sols compactés	Sols compactés. Le passage d'engins de chantier peut compacter et déstructurer les sols. Réduction de la pénétration de l'eau dans les sols.	Méthode de réalisation et couverture du fond de la ZRV non connue ou non vérifiée. La présence de graviers, le niveau et l'homogénéité du compactage peuvent influencer la pénétration de l'eau dans le sol.
Taux d'humidité du sol	Sol sec : infiltration initiale forte puis (temps long) constante Sol humide : infiltration initiale moyenne puis rapidement stable	Non concerné - sol saturé et en eau
Effets saisonniers	Le taux d'infiltration peut être influencé par les changements de saison : changement de température de l'eau, de sa viscosité, de la poussée de la végétation.	
Couches de sol	Homogénéité des couches de sol sous le texte d'infiltration	
Type de sol et présence d'eau souterraine	Variation de l'infiltration en fonction : Du type de sol sous-jacent (sable, argile, graviers) De la présence d'une nappe de subsurface	

Les mesures de conductivité hydraulique du sol (perméabilité) réalisées en 2013 et 2014 ont conclu à **des sols très argileux**, avec des perméabilités en zones saturées très faibles, voire non quantifiables ( $<1*10^{-8}$  m/s).

Dans ces conditions, il est **difficile de comparer l'évolution des perméabilités d'une année sur l'autre** tant les valeurs sont faibles et soumises aux conditions de mesures (localisation des mesures parfois différentes selon le développement de la végétation, saturation des sols variables, imprécision de la mesure sur des variations de hauteur d'eau  $<1$  mm).

Les résultats des tests d'infiltrations ont contribué à montrer la variabilité de la perméabilité entre un sol non saturé en eau et un sol saturé. Ils ont également permis de mettre en avant la disparité des résultats et l'évolution par rapport aux tests préalables réalisés par les constructeurs.

Mais compte tenu de la difficulté de mise en œuvre et de l'absence d'évolution entre l'année n et l'année n+1, en accord avec le comité de pilotage, les tests de perméabilité n'ont pas été reconduits l'année n+2 (2015).

# 6 Résultats du suivi

Les paragraphes suivants présentent les conclusions des suivis spécifiquement réalisés dans le cadre de l'étude, complétés par les retours d'expérience et autres données recueillies.

## 6.1 Synthèse du suivi

Le Tableau 9 présente les résultats synthétisés du suivi des 5 sites étudiés sur le bassin Adour-Garonne, pour les paramètres principaux.

Les figures suivantes résument pour chaque site les caractéristiques générales, les compartiments étudiés et les remarques notables sur le déroulement du suivi de 2013 à 2015 (adaptations faites, problématiques rencontrées, évènements marquants...).

Les résultats complets des suivis effectués sont présentés dans la partie B des annexes :

- L'ANNEXE B1 : *Tableau récapitulatif*
- *des suivis effectués* récapitule pour chaque site le contenu des suivis effectués lors de chaque campagne.
- L'ANNEXE B2: *Synthèse des*
- *résultats compilés par site* présente pour chacun des 5 sites une fiche de synthèse compilant les résultats sur les paramètres physico-chimique analysés (macropolluants).
- L' ANNEXE B3: *Synthèse des*
- *résultats compilés par paramètres* présente pour chacun des paramètres macropolluants analysés une fiche de synthèse compilant les résultats de tous les sites.
- L'ANNEXE B4: *Résultat des calculs d'impact théorique sur la qualité des masses d'eau réceptrices* présente pour chacun des 3 sites sur lequel un suivi milieu a été effectué, l'analyse de l'impact de la ZRV sur le milieu récepteur superficiel.
- L'ANNEXE B5 : *Résultats détaillés* compile tous les résultats détaillés par campagne de mesure.

Tableau 9 : Tableau de synthèse des résultats du suivi

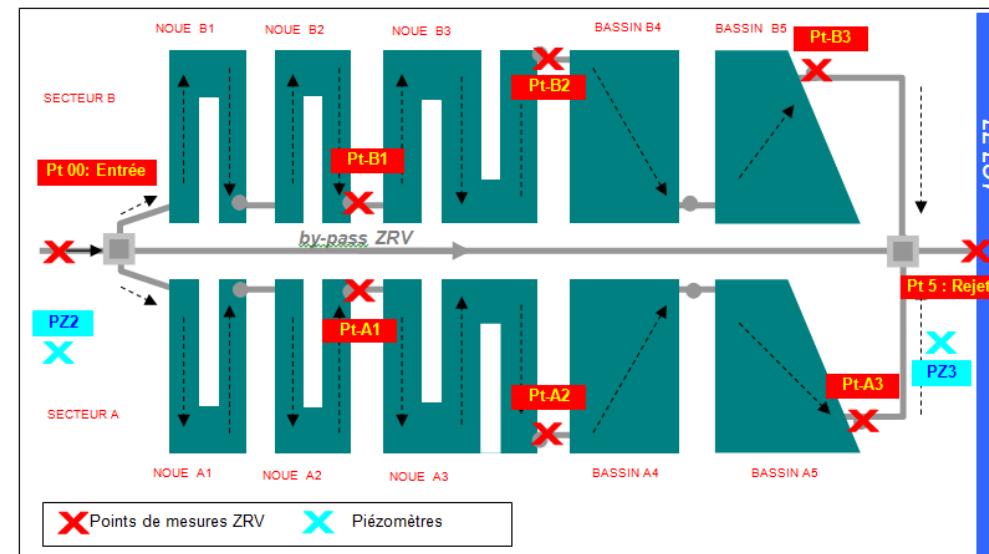
	MEYSSAC			CAILLAC			MONTANS			BASCONS			ST ROMAIN					
<b>DESCRITPIF</b>																		
STEU	Boues activées			Boues activées			FPR bi-filtre			FPR 1 étage recirculé			FPR 1 étage recirculé					
Capacité	4770 EH			5000 EH			500 EH			300 EH			400 EH					
Débit nominal temps sec	552 m <sup>3</sup> /j			750 m <sup>3</sup> /j			75 m <sup>3</sup> /j			54 m <sup>3</sup> /j			64 m <sup>3</sup> /j					
	Min	Moy.90	Max		Min	Moy.90	Max		Min	Moy.90	Max		Min	Moy.90	Max			
Débits mesurés	278 m <sup>3</sup> /j	413 m <sup>3</sup> /j	1026 m <sup>3</sup> /j		326 m <sup>3</sup> /j	386 m <sup>3</sup> /j	653 m <sup>3</sup> /j		35 m <sup>3</sup> /j	72 m <sup>3</sup> /j	286 m <sup>3</sup> /j		14.7 m <sup>3</sup> /j	22.8 m <sup>3</sup> /j	56.3 m <sup>3</sup> /j			
Taux de charge hydraulique 90% du temps	75%			51%			96%			42%			24%					
ZRV	Combinaison			Combinaison			Bassins			Noues			Noues					
Objectif affiché	affinage traitement, tampon			infiltration partielle et abattement bactériologique			affinage traitement, tampon			évapotranspiration (zéro rejet 6 mois/an)			affinage traitement					
Surface en eau	~4330 m <sup>2</sup>			~2100 m <sup>2</sup>			~250 m <sup>2</sup>			~742 m <sup>2</sup>			~250 m <sup>2</sup>					
Rapport surface en eau / nombre EH nominal	0.9 m <sup>2</sup> /EH			0.4 m <sup>2</sup> /EH			0.5 m <sup>2</sup> /EH			2.5 m <sup>2</sup> /EH			0.6 m <sup>2</sup> /EH					
Rapport surface en eau / nombre EH effectifs (hydraulique)	1.2 m <sup>2</sup> /EH			0.8 m <sup>2</sup> /EH			0.5 m <sup>2</sup> /EH			5.9 m <sup>2</sup> /EH			2.6 m <sup>2</sup> /EH					
Temps de séjours théorique moyen estimée en condition actuelle	2,7 à 3,4 jours			2,9 à 4,4 jours			0,4 à 1,4 jours			6,4 à 7,4			2,8 jours					
Linéaire	470 m			230 m (x2)			60 m			entre 55 et 130m (x5)			60 m (x3)					
<b>HYDRAULIQUE</b>																		
<b>Performance hydraulique</b>	Moyenne			Moyenne			Moyenne			Moyenne			Moyenne					
Débit entrant	478 m <sup>3</sup> /j			421 m <sup>3</sup> /j			94 m <sup>3</sup> /j			25 m <sup>3</sup> /j			16 m <sup>3</sup> /j					
Lame d'eau entrante (moyenne)	110 mm/j			214 mm/j			499 mm/j			34 mm/j			80 mm/j					
Lame d'eau perdue (moyenne)	26 (+/- 22) mm/j			79 (+/- 44) mm/j			31 (+/- 75) mm/j			3 (+/- 31) mm/j			(1 +/- 31)					
Potentiel d'infiltration issu des tests double anneau	11 mm/j			12 mm/j			5.6 mm/j			30 mm/j			13 mm/j					
	Min	Moy	Max		Min	Moy	Max		Min	Moy	Max		Min	Moy	Max			
Taux de restitution hydraulique (débit journalier sortie / débit journalier entrée)	63%	<b>80%</b>	100%		20%	<b>62%</b>	89%		47%	<b>94%</b>	113%		0%	<b>93%</b>	280%	52% <b>103%</b> 213%		
Lissage pointe de débit (1- débit pointe sortie / débit pointe entrée)	19%	<b>41%</b>	66%		31%	<b>55%</b>	79%		-3%	<b>25%</b>	49%		-117%	<b>13%</b>	89%	-124% <b>-2%</b> 44%		
<b>IMPACT SUR LE REJET</b>																		
<b>Impact global sur le rejet</b>	Peu ou pas d'influence	Diminue	Augmente	Peu ou pas d'influence	Diminue	Augmente	Peu ou pas d'influence	Diminue	Augmente	Peu ou pas d'influence	Diminue	Augmente	Peu ou pas d'influence	Diminue	Augmente			
Impact global sur les concentrations rejetées (tendance majoritaire)	DBO5, DCO, NNO2, NNO3, Pt	MES, NGL, NNH4, NTK	PPO4	DBO5, DCO, MES, NGL, NNH4, NNO2, NNO3, PPO4, Pt	NNH4, NNO2, NTK	-	PPO4, Pt	DBO5, DCO, MES, NGL, NNH4, NNO3, NTK	NNO2	DCO, MES, NGL, NNH4, NNO2, NNO3, NTK	-	DBO5, NNO3, PPO4, Pt	MES, NGL, NNH4, NNO2, NTK	DCO				
Impact global sur les flux rejetés (tendance majoritaire)	DBO5, DCO, NNO3, Pt	MES, NGL, NNH4, NNO2, NTK	PPO4	DBO5, DCO, MES, NGL, NNH4, NNO2, NTK, PPO4	NNH4, NNO2, NNO3, Pt	-	PPO4, Pt	DBO5, DCO, MES, NGL, NNH4, NNO2, NNO3, NTK	-	DBO5, DCO, MES, NGL, NNH4, NNO2, NNO3, NTK, PPO4, Pt	-	DBO5, Pt	DCO, MES, NGL, NNH4, NNO2, NNO3, NTK, PPO4	-				
<b>IMPACT SUR LE MILIEU</b>																		
<b>Impact sur le milieu récepteur (état théorique)</b>	Ne modifie pas	Améliore	Déclasse				Ne modifie pas	Améliore	Déclasse				Ne modifie pas	Améliore	Déclasse			
Comparaison d'une situation avec et sans la ZRV	4 fois /6	2 fois /6	<b>0 fois /6</b>				Non mesuré			5 fois /6	1 fois /6	<b>0 fois /6</b>		Non mesuré		4 fois /4	0 fois /4	<b>0 fois /4</b>

# MEYSSAC

STEU amont				ZRV																	
Type	Capacité	Réseau amont	Mise en service	Type de ZRV	Alimentation de la ZRV	Surface en eau	Rejet permanent	Objectif ZRV	Végétation plantée	Tps séjour théorique	Fonctionnement										
Boues activées (avec traitement du Pt)	4770 EH 552 m <sup>3</sup> /j	pseudo séparatif sensible aux ECP	2012	Noues et bassins	STEU + TP + pluvial	~4340 m <sup>2</sup> (estimée) Soit 0,9 m <sup>2</sup> /EH	Oui	affinage traitement, tampon	Saules + bassin2	2,7 à 3,4 jours	toute l'année										
<b>Limite de rejet (mg/l)</b>																					
<table border="1"> <tr> <th>DCO</th><th>DBO</th><th>MES</th><th>NTK</th><th>Pt</th></tr> <tr> <td>90</td><td>20</td><td>35</td><td>10</td><td>1</td></tr> </table>												DCO	DBO	MES	NTK	Pt	90	20	35	10	1
DCO	DBO	MES	NTK	Pt																	
90	20	35	10	1																	
<b>Milieu récepteur</b>																					
Ruisseau sans nom P2161020 appartenant au bassin versant de la Dordogne																					
<b>Masse d'eau</b>	FRFRR79_3 : Le Lafondiale																				
<b>Objectif état écologique</b>	Bon état 2027																				
<b>Compartiments étudiés</b>																					
Eaux de surface ZRV Milieu récepteur eaux de surface	Boues Sol Faune/Flore																				
<b>BILAN DU SUIVI</b>																					
<b>Adaptation du protocole :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucun</li> </ul>																				
<b>Problèmes récurrents :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lentilles d'eau</li> <li>- Débordements</li> <li>- Effondrement des saules</li> </ul>																				
<b>Difficultés de suivi rencontrées :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arrivée d'effluent industriels sur la STEU</li> <li>- Dysfonctionnement du réseau et de la STEU (2013, 2014)</li> <li>- Milieu récepteur avec étiage sévère</li> </ul>																				

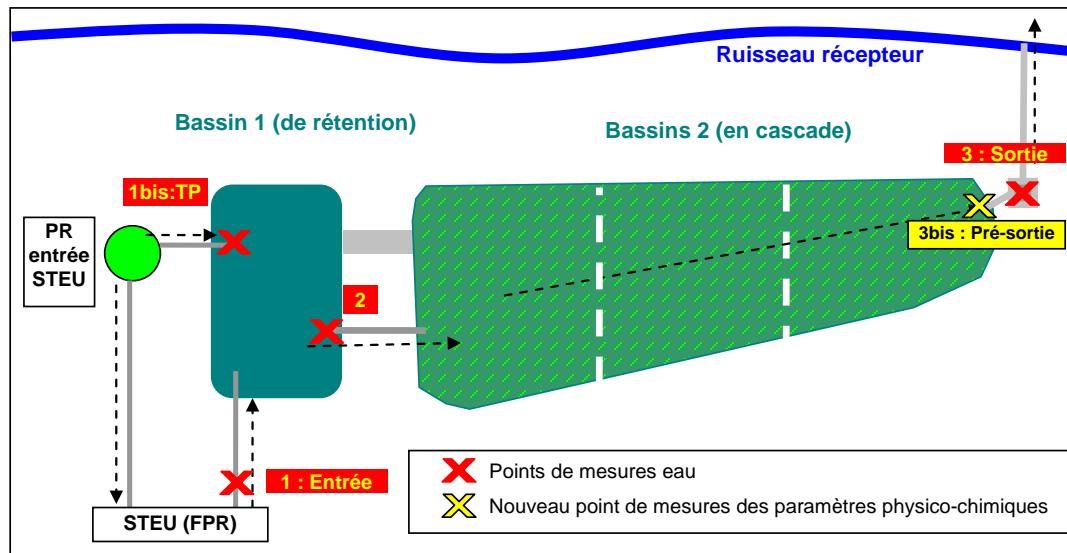
# CAILLAC

STEU amont				ZRV							
Type	Capacité	Réseau amont	Mise en service	Type de ZRV	Alimentation de la ZRV	Surface en eau	Rejet permanent	Objectif ZRV	Végétation plantée	Tps séjour théorique	Fonctionnement
Boues activées	5000 EH 75 m3/j	Séparatif sensible aux ECP	2009	Noues + bassins	Sortie STEU	2100 m <sup>2</sup> (estimée) Soit 0,4 m <sup>2</sup> /EH	Non	infiltration partielle et abattement bactériologique	Saules et divers	2,9 à 4,4 jours	Mars à nov.
<b>Limite de rejet (mg/l)</b>											
DCO	DBO	MES	NGL	Pt							
125	25	35	15	-							
<b>Milieu récepteur</b>											
Le Lot											
<b>Masse d'eau</b>	FRFR321 : Le Lot										
<b>Objectif état écologique</b>	Bon potentiel 2021										
<b>Zone à usage sensible</b>	Zone de baignade										
<b>Compartiments étudiés</b>											
Eaux de surface ZRV	Boues										
Eaux infiltrées dans le sol	Sol										
Nappe souterraine	Faune/Flore										
<b>BILAN DU SUIVI</b>											
<b>Adaptation du protocole :</b>											
- Suppression des points intermédiaires pour finir en 2015 avec entrée / sortie seulement											
- Arrêt du suivi des lysimètres et allégement suivi piézomètre											
<b>Problèmes récurrents :</b>											
- Lentilles d'eau											
- Bouchage et mise en charge											
- Débordements / courts-circuits											
<b>Intervention particulière :</b>											
- Nettoyage annuel courant de la ZRV au printemps											
<b>Difficultés de suivi rencontrées :</b>											
- Pas de suivi du milieu récepteur de surface possible											
- Problèmes hydrauliques de la ZRV faussant ponctuellement le suivi											
- Concentrations faibles, proches LQ											
- Influence du Lot sur les eaux souterraines au niveau du PZ3											



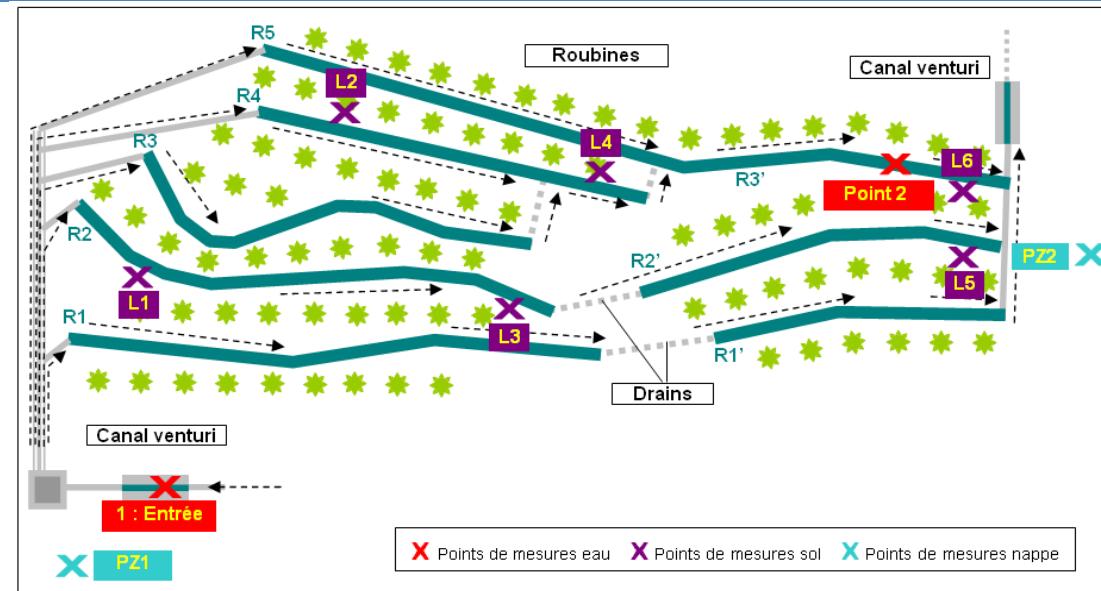
# MONTANS

STEU amont				ZRV																															
Type	Capacité	Réseau amont	Mise en service	Type de ZRV	Alimentation de la ZRV	Surface en eau	Rejet permanent	Objectif ZRV	Végétation plantée	Tps séjour théorique	Fonctionnement																								
FPR bi-filtre	500 EH 75m <sup>3</sup> /j	Unitaire	2007	Bassins	Sortie STEU + Trop-plein PR	2100 m <sup>2</sup> (estimée) Soit 0,4 m <sup>2</sup> /EH	Oui	affinage traitement, tampon	Quelques hélophytes dans bassin 1	1,0 à 1,1 jours	toute l'année																								
Limite de rejet (mg/l)																																			
<table border="1"> <tr> <th>DCO</th><th>DBO</th><th>MES</th><th>NGL</th><th>Pt</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th></tr> <tr> <td>125</td><td>25</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>												DCO	DBO	MES	NGL	Pt								125	25	-	-	-							
DCO	DBO	MES	NGL	Pt																															
125	25	-	-	-																															
Milieu récepteur																																			
Ru de Banis (O3960500)																																			
Masse d'eau	FRFRR314A_4 : ruisseau du Banis																																		
Objectif état écologique	Bon état 2021																																		
Compartiments étudiés																																			
Eaux de surface ZRV	Boues																																		
Milieu récepteur eaux de surface	Sol																																		
	Faune/Flore																																		
BILAN DU SUIVI																																			
<u>Adaptation du protocole :</u>						<u>Intervention particulière :</u>																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ajout d'un point intermédiaire 3bis pré-sortie (physico-chimie uniquement)</li> </ul>						<ul style="list-style-type: none"> <li>Curage du bassin 1 et bassin 2 étage 1 en novembre 2014</li> <li>Curage du bassin 2 étage 2 en novembre 2015 (post suivi)</li> </ul>																													
<u>Problèmes récurrents :</u>						<u>Difficultés de suivi rencontrées :</u>																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>Comblement et débordement des bassins</li> </ul>						<ul style="list-style-type: none"> <li>Impact fort de la pluviométrie lors des campagnes</li> </ul>																													



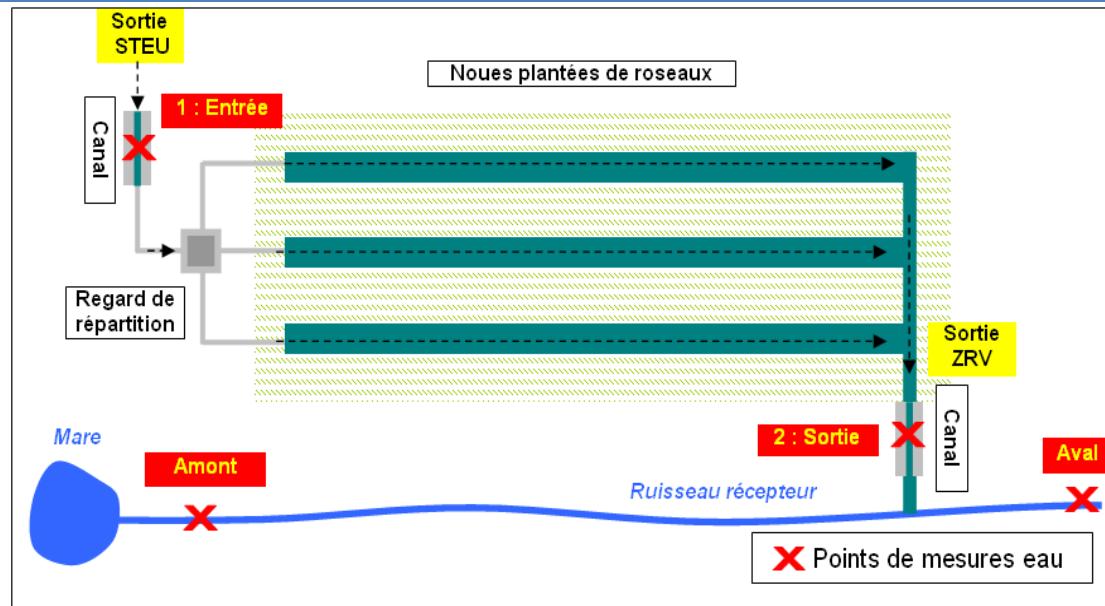
# BASCONS

STEU amont				ZRV																															
Type	Capacité	Réseau amont	Mise en service	Type de ZRV	Alimentation de la ZRV	Surface en eau	Rejet permanent	Objectif ZRV	Végétation plantée	Tps séjour théorique	Fonctionnement																								
FPR 1étage	300 EH 54m <sup>3</sup> /j	Séparatif	2011	Noues + Bambous	STEU	742 m <sup>2</sup> Soit 2,5 m <sup>2</sup> /EH	non	Évapo-transpiration (zéro rejet)	Bambous	6,4 à 7,4 jours	mai à octobre																								
Limite de rejet (mg/l)																																			
<table border="1"> <tr> <th>DCO</th><th>DBO</th><th>MES</th><th>NGL</th><th>Pt</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th></tr> <tr> <td>125</td><td>25</td><td>35</td><td>20</td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>												DCO	DBO	MES	NGL	Pt								125	25	35	20	-							
DCO	DBO	MES	NGL	Pt																															
125	25	35	20	-																															
Milieu récepteur																																			
Fossé vers Ruisseau sans nom vers ruisseau de Caillaou																																			
<i>Masse d'eau</i>		FRFRR327C_16: Ruisseau de Courdaoute																																	
<i>Objectif état écologique</i>		Bon état 2021																																	
Compartiments étudiés																																			
Eaux de surface ZRV		Boues																																	
Eaux infiltrées dans le sol		Sol																																	
Nappe souterraine		Faune/Flore																																	
BILAN DU SUIVI																																			
<u>Adaptation du protocole :</u>						<u>Intervention particulière :</u>																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abandon du suivi piézomètre et lysimètre en 2015</li> </ul>						<ul style="list-style-type: none"> <li>- Curages ponctuels par la commune (tous les ans)</li> <li>- Aménagements mineurs / replantations par la commune début 2015</li> </ul>																													
<u>Problèmes récurrents :</u>						<u>Difficultés de suivi rencontrées :</u>																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépôts de boues</li> <li>- Érosion / éboulement des berges</li> </ul>						<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélèvements des eaux du sol délicats (volumes insuffisants)</li> <li>- Impact de la pluviométrie lors des campagnes</li> <li>- Suspicion d'un drainage des eaux du sol avec phénomène de dilution</li> </ul>																													



# SAINT-ROMAIN

STEU amont				ZRV																															
Type	Capacité	Réseau amont	Mise en service	Type de ZRV	Alimentation de la ZRV	Surface en eau	Rejet permanent	Objectif ZRV	Végétation plantée	Tps séjour théorique	Fonctionnement																								
FPR 1 étage avec recirculation	400 EH 64 m <sup>3</sup> /j	Séparatif	2011	Noues	STEU	200 à 250m <sup>2</sup> (estimée) Soit 0,5 m <sup>2</sup> /EH	oui	affinage traitement	Roseaux à balais	2,8 jours	Toute l'année																								
Limite de rejet (mg/l)																																			
<table border="1"> <tr> <td>DCO</td><td>DBO</td><td>MES</td><td>NGL</td><td>Pt</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>125</td><td>25</td><td>35</td><td>20</td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>												DCO	DBO	MES	NGL	Pt								125	25	35	20	-							
DCO	DBO	MES	NGL	Pt																															
125	25	35	20	-																															
Milieu récepteur																																			
l'Ecrevansou (P7310550)																																			
Masse d'eau		FRFRR289B_5: ruisseau L'Ecrevansou																																	
Objectif état écologique		Bon état 2027																																	
Compartiments étudiés																																			
Eaux de surface ZRV				Boues																															
Milieu récepteur eaux de surface				Sol																															
				Faune/Flore																															
BILAN DU SUIVI																																			
<u>Adaptation du protocole :</u>						<u>Intervention particulière :</u>																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucune</li> </ul>						<ul style="list-style-type: none"> <li>- Curage et reprofilage début 2015</li> </ul>																													
<u>Problèmes récurrents :</u>						<u>Difficultés de suivi rencontrées :</u>																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en charge</li> </ul>						<ul style="list-style-type: none"> <li>- Végétation dense limitant accès à l'ouvrage</li> <li>- Mise en charge progressive du canal de mesure amont</li> <li>- Milieu régulière à l'assèc</li> </ul>																													



## 6.2 Performance de traitement

Les tableaux suivants synthétisent les résultats des suivis effectués sur les 3 ans de mesure.

Les résultats complets par site et par paramètre sont donnés en ANNEXE B2, ANNEXE B3, ANNEXE B4, ANNEXE B5.

### 6.2.1 Impact sur les macropolluants

Le tableau suivant présente la distribution des rendements pour la totalité des valeurs calculées sur l'ensemble des sites.

Tableau 10 : Bilan des campagnes de mesure

	[C]entrée ZRV (mg/l)		[C]sortie ZRV (mg/l)		Impact global sur les rendements en concentrations			Impact global sur les rendements en flux		
					Répartition des résultats Pourcent % (nombre de valeurs)		Répartition des résultats Pourcent % (nombre de valeurs)			
	Min	Max	Min	Max	Nul (NQ, NS)	Significativement positif	Significativement négatif	Nul (NQ, NS)	Significativement positif	Significativement négatif
<b>DB05</b>	3	50	3	17	<b>75%</b> (82)	25% (28)	- (0)	<b>61%</b> (67)	37% (40)	2% (2)
<b>DCO</b>	30	231	30	115	<b>55%</b> (60)	44% (48)	2% (2)	41% (45)	<b>53%</b> (58)	6% (6)
<b>MES</b>	2	67	2	72	26% (29)	<b>54%</b> (59)	20% (22)	17% (19)	<b>66%</b> (72)	17% (18)
<b>NGL</b>	1	118	1	83	33% (36)	<b>65%</b> (72)	2% (2)	19% (21)	<b>77%</b> (84)	4% (4)
<b>NNH4</b>	0.04	38.3	0.04	47	17% (19)	<b>70%</b> (77)	13% (14)	15% (16)	<b>74%</b> (81)	11% (12)
<b>NNO<sub>2</sub></b>	0.01	6.39	0.01	2.89	25% (27)	<b>46%</b> (51)	29% (32)	17% (19)	<b>58%</b> (63)	25% (27)
<b>NNO<sub>3</sub></b>	0.2	102.1	0.2	70.3	43% (47)	<b>49%</b> (54)	8% (9)	42% (46)	<b>50%</b> (54)	8% (9)
<b>NTK</b>	1	44.4	1	51.1	17% (19)	<b>73%</b> (80)	10% (11)	13% (14)	<b>77%</b> (84)	10% (11)
<b>PPO4</b>	0.03	19.2	0.03	14.42	<b>64%</b> (66)	18% (19)	17% (18)	36% (37)	<b>45%</b> (46)	19% (19)
<b>Pt</b>	0.01	18.1	0.06	14.8	<b>86%</b> (95)	7% (8)	6% (7)	<b>65%</b> (71)	30% (33)	5% (5)

Les graphiques suivants compilent la distribution des résultats par paramètre, sur concentration et sur flux :

- Les bilans menant à un rendement non quantifiable (NQ) ne permettent pas de conclure sur un éventuel abattement de la pollution.
- Les bilans menant à un rendement non significatif (NS) sont interprétés comme une absence d'influence de la ZRV sur les concentrations mesurées (peu ou pas d'impact).
- Parmi les bilans dont le rendement sur concentration est significatif, on distingue quatre types de rendement :
  - Rendement négatif, traduisant un impact négatif sur la qualité de l'eau rejetée,
  - Rendement positif <30%, traduisant un impact positif léger sur l'eau de sortie de station,
  - Rendement positif de 30% à <70%, témoignant d'un impact positif via un abattement moyen de la pollution concernée,
  - Rendement positif >70%, concernant les bilans où la capacité épuratoire de la ZRV pour le paramètre est relativement importante.

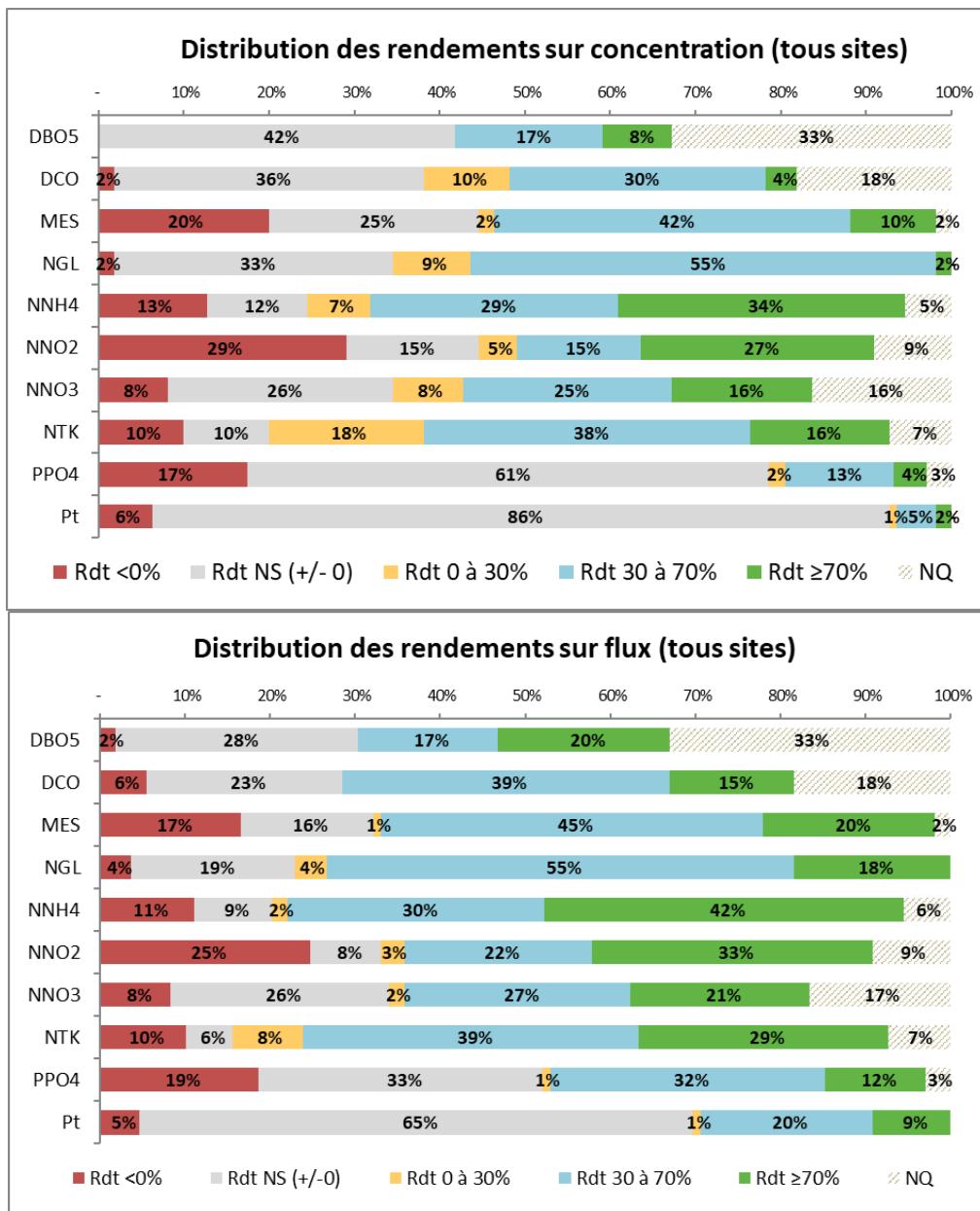


Tableau 11 : Distribution des résultats sur les macropolluants (toutes campagnes et tous sites confondus)

De par les différences de filière de traitement des stations d'épuration des différents sites et de l'aménagement des ZRV, les tendances pour les paramètres macropolluants ne sont pas toujours comparables. Les résultats par site et par paramètres sont donnés en ANNEXE B2 et ANNEXE B3.

L'analyse globale des résultats des 3 années de suivi sur l'ensemble des sites permet toutefois de dégager quelques grandes tendances, présentées dans les paragraphes suivants.

Les suivis réalisés en sortie des différents types de procédés de traitement montrent que la qualité des eaux rejetées par la station semble impacter les rendements épuratoires de la ZRV, quand ceux-ci sont mesurables : plus le traitement sur la STEU est poussé (par exemple boues activées avec traitement du phosphore), moins la ZRV permet un abattement complémentaire sur les concentrations rejetées.

Dans le cas de stations à haute performance de traitement, **la réduction des flux rejetés au milieu récepteur passe essentiellement par la diminution des volumes**.

Dans le cas d'une zone d'infiltration cela pose la question de l'impact possible sur les eaux souterraines, d'où la nécessité d'investiguer via des programmes de recherche nationaux pour une meilleure connaissance du rôle épuratoire du sol.

### a. Un abattement complémentaire sur les concentrations élevées en DCO et DBO

Pour les paramètres organiques (DCO et DBO), la moyenne des rendements sur concentration est faible. Cet abattement est d'autant plus important que les concentrations en entrée ZRV sont élevées.

Seul le paramètre DBO est pris en compte dans l'évaluation de l'état des masses d'eau superficielles. Dans le cadre du suivi effectué, la Figure 16 montre que lorsque le paramètre est quantifié en sortie de STEU, dans 54% des cas la ZRV contribue à diminuer significativement le flux rejeté au milieu naturel, avec les rendements les meilleurs en sortie de FPR (lorsque la concentration en sortie STEU est plus élevée) et sur les zones avec une perte de débit.

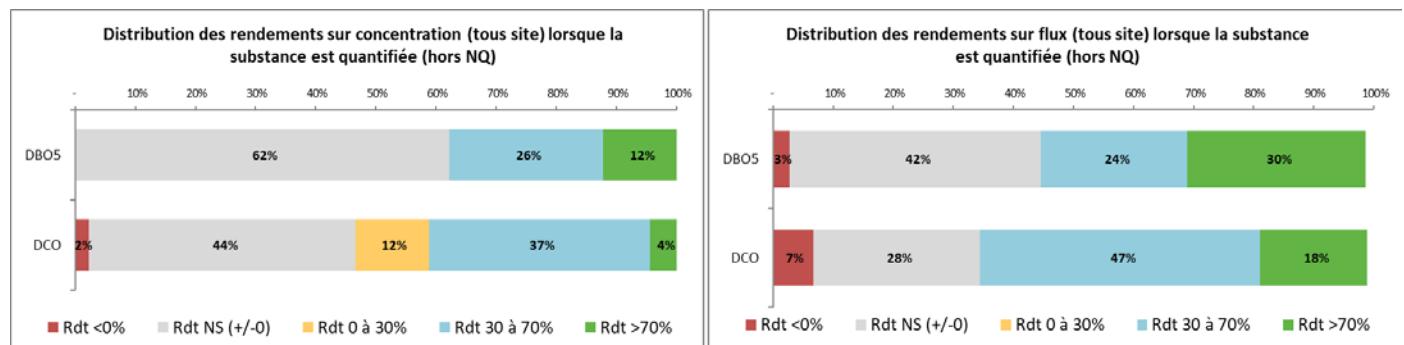


Figure 16 : Analyse des rendements sur DCO et DBO, hors NQ

Une analyse plus fine des données montre que le rendement sur ces paramètres est proportionnel aux concentrations entrantes.

Ainsi, pour la DCO un abattement moyen de 50% a été mesuré pour 90% des bilans où la concentration en entrée ZRV est supérieure à 100 mg/l, avec un rendement maximum à 76%.

L'abattement moyen mesuré sur les concentrations en DBO >6mg/l est du même ordre de grandeur (moyenne réduite de 55% et maximum à 94%).

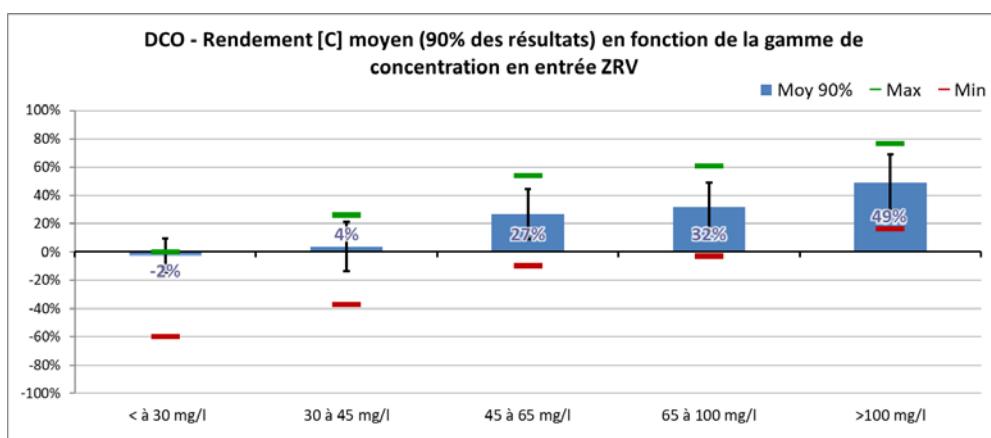


Figure 17 : DCO - Évolution du rendement sur concentration en fonction de la concentration en entrée ZRV

En analysant les pertes moyennes en flux, et en rapportant ce flux en équivalent habitant, on se rend compte que l'épuration complémentaire apportée par les ZRV ne représente que quelques dizaines d'équivalents-habitants pour la DBO5 mais jusqu'à plus de 265 EH pour la DCO.

Tableau 12 : Conversion des flux de DBO5 et DCO exportés en EH

DCO		Bilan matière lorsque le paramètre est quantifié, et avec un rendement sur flux significatif positif, soit 54% des cas						DBO5		Bilan matière lorsque le paramètre est quantifié, et avec un rendement sur flux significatif positif, soit 37% des cas					
		MEYSSAC	CAILLAC	MONTANS	BASCONS	SAINT-ROMAIN	Tous les sites			MEYSSAC	CAILLAC	MONTANS	BASCONS	SAINT-ROMAIN	Tous les sites
Flux entrants sur la ZRV quand [C]>LQ	kg/j	20.9 à 68.9	11.3 à 46.9	3.1 à 21.8	0.8 à 5	0.6 à 2.2	0.6 à 68.9	2.2 à 7	1.4 à 1.8	0.2 à 2.8	0.1 à 0.7	0 à 0.2	0 à 0.2	0 à 7	
	EH	174 à 574	94 à 391	26 à 182	7 à 42	5 à 18	5 à 574	37 à 116	23 à 29	4 à 47	1 à 12	1 à 4	1 à 4	1 à 116	
Bilan matière	Nb valeurs		3	10	17	19	15	64	3	3	14	14	8	42	
	Perte Moy		16.5 kg/j	11.0 kg/j	5.1 kg/j	1.8 kg/j	0.6 kg/j	4.9 kg/j	2.6 kg/j	1.1 kg/j	0.8 kg/j	0.2 kg/j	0.1 kg/j	0.6 kg/j	
	Perte moy. EH		138 EH	92 EH	42 EH	15 EH	5 EH	41 EH	43 EH	18 EH	13 EH	4 EH	2 EH	11 EH	
	Perte max. EH		235 EH	265 EH	132 EH	38 EH	9 EH	265 EH	81 EH	21 EH	44 EH	8 EH	3 EH	81 EH	

Il faut noter que cette perte est due à plusieurs phénomènes : d'une part les phénomènes biologiques et physiques dans la ZRV, d'autre part la diminution des flux liés aux eaux infiltrées. Ces deux phénomènes contribuent à réduire le flux. Ils varient selon les sites.

#### b. Des résultats variables sur la rétention des MES

La mécanique d'abattement de la matière en suspension s'appuie essentiellement sur la décantation / sédimentation. Le pouvoir de rétention des MES par les ZRV est très variable selon les sites. Une fois encore, le rendement sur concentration semble proportionnellement lié la concentration en entrée de ZRV.

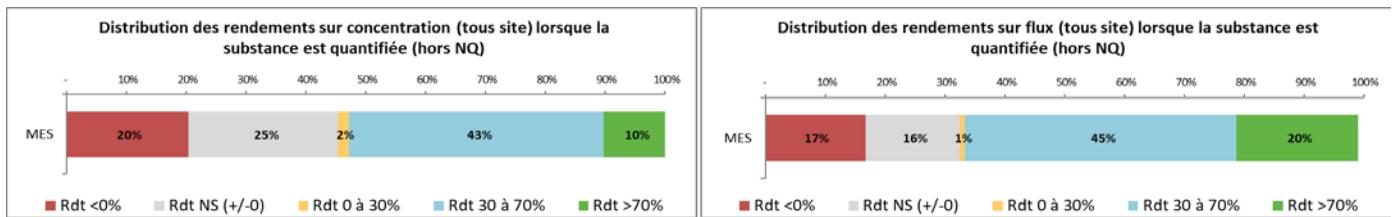


Figure 18 : Analyse des rendements sur MES, hors NQ

Aucune tendance par site ne se dégage sur ce paramètre, quel que soit le type de STEU amont ou la morphologie de la zone, les rendements en MES peuvent être très bons comme très mauvais. **Le développement de microalgues, les résidus de la bioturbation** [def], ou la remise en suspension des sédiments peuvent entre autres impacter négativement ce paramètre.

#### c. Une dénitrification possible sous certaines conditions

##### ■ Azote global

La régulation de l'azote est primordiale pour la protection des masses d'eau. Les résultats obtenus lors de cette étude sont très variables et dépendant du site et de la forme de l'azote majoritaire en entrée de zone.

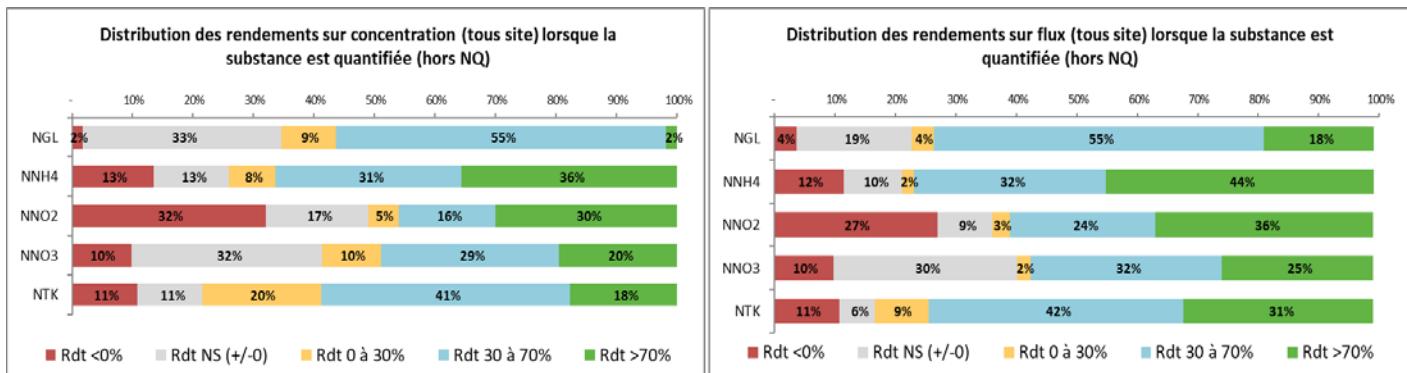


Figure 19 : Analyse des rendements sur l'azote, hors NQ

D'une manière générale, et sur tous les paramètres azotés étudiés, des rendements sur concentration et sur flux allant jusqu'à plus de 90% ont été observés. À contrario, des augmentations très significatives des charges rejetées ont également été mesurées sur ces paramètres, hormis l'azote global.

Quel que soit le type de site considéré ou la saison, **le rendement moyen sur les concentrations en azote global (NGL) est toujours proche de 30% avec des rendements significativement positifs dans près de 65% des bilans.**

- **Azote réduit**

L'élimination de l'azote dans les ZRV va se faire essentiellement par les réactions de nitrification/dénitrification, complétés par le prélèvement par les plantes. Pour les 5 sites étudiés, **un abattement positif et significatif de l'azote ammoniacal (NNH4) a été mesuré dans 74% des cas.**

A l'inverse, la décomposition de la matière organique peut être à l'origine de l'augmentation de l'ammonium (ammonification). Ce phénomène a été observé à plusieurs reprises lors des campagnes, avec des **augmentations parfois importantes des flux rejetés (12% des cas).**

Plusieurs résultats de l'étude viennent confirmer l'hypothèse **qu'une part importante des nitrates est dénitrifiée dans la couche d'humus et de sédiment qui se forme au fond des ouvrages**, source de carbone organique et de conditions anaérobies.

Sur le site de Montans, l'analyse des résultats au point intermédiaire indique que l'abattement de l'azote se fait essentiellement lors de la traversée des bassins végétalisés et colmatés par une couche épaisse de plusieurs dizaines de centimètres de boues et d'humus (écoulement hyporhéique<sup>[def]</sup>).

Fin 2014 - début 2015, deux sites ont dû être curés pour des raisons hydrauliques. Les ouvrages ont été raclés et toute la couche de dépôts évacuée hors du site.

Suite à ces curages, on remarque que les rendements sur l'azote ammoniacal (NNH4) se sont plus ou moins dégradés.

- Sur le site entièrement curé (Saint-Romain), le rendement sur flux moyen annuel passe de 75-80% en 2013 et 2014 à des valeurs systématiquement négatives en 2015.
- Sur le site partiellement curé (Montans), le rendement sur flux passe de prêt de 90% à 60% après curage.

Les plus grosses pertes en termes de flux sont observées sur les sites de Montans et Meyssac, avec des pertes journalières maximales représentant jusqu'à 360 EH (mais en moyenne inférieure à 50 EH) sur l'ensemble des sites.

**Tableau 13 : Pertes journalières en azote ammoniacal converties en équivalents habitants (EH)**

NNH4		Bilan matière lorsque le paramètre est quantifié, et avec un rendement sur flux significatif positif, soit 74% des cas					
		MEYSSAC	CAILLAC	MONTANS	BASCONS	SAINT-ROMAIN	Tous les sites
Flux entrants sur la ZRV quand [C]>LQ	kg/j EH	0 à 4.1 2 à 533	0 à 0.7 2 à 90	0.2 à 2.1 22 à 274	0.1 à 1.7 17 à 223	0 à 0.3 3 à 37	0 à 4.1 2 à 533
Bilan matière	Nb valeurs	20	15	21	18	19	93
	Perte Moy	0.5 kg/j	0.2 kg/j	0.5 kg/j	0.3 kg/j	0.1 kg/j	0.3 kg/j
	Perte moy. EH	70 EH	24 EH	68 EH	41 EH	12 EH	45 EH
	Perte max. EH	361 EH	87 EH	262 EH	73 EH	33 EH	361 EH

- **Azote oxydé**

Les rendements sur concentration et sur flux mesurés sur les nitrites ( $\text{NNO}_2^-$ ) montrent des résultats plutôt médiocres, avec une moyenne générale négative et une moyenne réduite (90% des valeurs) proche de 0.

La compilation des données montre que le flux en  $\text{NNO}_2^-$  dans les ZRV diminue dans 64% des cas mais augmente dans 27%. Les nitrites sont des composés toxiques pour le milieu naturel, leur présence en forte concentration n'est donc pas souhaitable.

L'augmentation des nitrites témoigne sur plusieurs sites d'un phénomène de nitrification ou de dénitrification incomplet.

Un temps de séjour trop court, une carence en carbone, ou des conditions en oxygène insatisfaisantes peuvent être à l'origine de ces réactions incomplètes.

Les rendements sur les nitrates semblent en partie liés au type de station amont :

- Lorsque les concentrations sont  $>10$  mg NNO<sub>3</sub>/l en entrée de ZRV (sortie FPR), **le rendement moyen sur les concentrations en nitrates se situe autour de 40%**. Pour ce paramètre, les meilleurs résultats s'observent sur la bambouseraie, avec des rendements sur concentrations qui peuvent dépasser les 90%.
- Sur les deux sites situés en aval de STEU boues activées, **les rendements sur les nitrates sont globalement mauvais** (non significatifs voire négatifs), en concentration comme en flux, avec moins de 50% des bilans où le rendement sur concentration est significativement positif.

- **Prélèvement par les plantes**

En se référant aux données bibliographiques sur le prélèvement de l'azote par les plantes (cf. §4.1.1b), une estimation des flux pouvant être prélevés par les plantes dans chaque ZRV a été calculée (détail du calcul au §5.5.2). Ce flux présente l'exportation théorique moyenne et maximale sur l'ensemble des bilans effectués, et quelle que soit la période de mesure (période végétative comme et période de sénescence [\[def.\]](#)).

Sur plusieurs sites, l'exportation théorique d'azote par les plantes pourrait expliquer une partie des abattements observés sur l'azote global.

**Tableau 14 : Estimation des prélèvements en azote par les plantes**

	MEYSSAC	CAILLAC	MONTANS	BASCONS	SAINT-ROMAIN
Surface végétalisée estimée (m <sup>2</sup> )	3255	1050	120	742	200
Exportation théorique ( g/j)	de 179 à 4459 g N/j	de 58 à 1439 g N/j	de 7 à 164 g N/j	de 41 à 1017 g N/j	de 11 à 274 g N/j
Perte moyenne <sup>2</sup> (flux NGL en g/j)	1095 g/j	520 g/j	2358 g/j	1041 g/j	522 g/j
Perte max (flux NGL en g/j)	4024 g/j	1042 g/j	7772 g/j	1348 g/j	776 g/j

Ce constat est vrai lorsque les concentrations en jeu sont très faibles, notamment en sortie de STEU boues activées. Dans ces conditions, l'assimilation de l'azote par les plantes, négligeable sur les procédés épuratoires végétalisés utilisés en assainissement (FPR...), devient significative sur les faibles concentrations entrantes dans les ZRV. Il reste toutefois impossible de déterminer la part de l'azote prélevée par les plantes ou la part dénitrifiée.

Sur les ZRV positionnées en sortie de FPR (MONTANS, SAINT ROMAIN notamment), le prélèvement par les plantes ne justifie pas les pertes sur flux observées, qui seraient majoritairement liées aux réactions de nitrification/dénitrification.

**Rappelons que selon les travaux de Lin [23], 4 à 11 % de l'azote éliminé dans les zones humides artificielles seraient dus à l'absorption par la végétation, contre 89 à 96 % par le processus de dénitrification.**

Par ailleurs, le prélèvement de l'azote par les plantes est un mécanisme d'élimination par stockage temporaire. En effet, si la végétation n'est pas fauquardée, l'azote retournera au milieu au moment de la sénescence [\[def.\]](#) des plantes.

- **Un effet de saison ?**

Si on étudie la variation des rendements moyens en azote en fonction des mois de l'année (hors résultats non quantifiable), on constate que sur les trois ZRV en sortie de FPR il y a peu d'effet saisonnier sur les nitrates (NNO<sub>3</sub>) et l'ammonium (NNH<sub>4</sub>) : les rendements sur concentration et sur flux restent globalement stables. Sur

<sup>2</sup> Bilan matière lorsque le paramètre est quantifié, et avec un rendement sur flux significatif positif, soit 77% des cas

ces sites on peut toutefois noter des performances plus médiocres sur les nitrites (NNO<sub>2</sub>) en novembre et des rendements moyens sur NNO<sub>2</sub> significativement positifs seulement en juin.

Sur les deux stations en sortie de boues activées (faibles concentrations, grande ZRV), le rendement en NNO<sub>3</sub> sur flux est positif en juin et août, lié en partie aux pertes de volumes, et négatif en novembre.

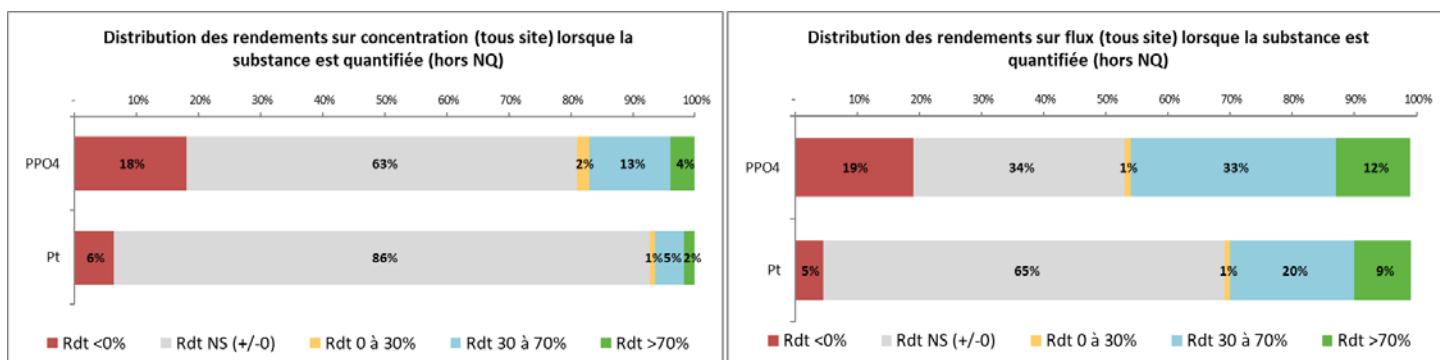
Si on considère le NNH4, les résultats sont variables mais avec des rendements très négatifs en novembre, liés aux faibles concentrations en jeu (par exemple des concentrations de 0,1 mg/l en entrée et de 0,3 mg/l en sortie donnent un rendement de -200%). Sur ce paramètre, les tendances par site ne sont pas comparables il est donc délicat d'en tirer des conclusions.

**Tableau 15 : Comparaison des rendements sur les paramètres azotés selon le type de site et les saisons**

		Concentration entrée		Moyenne Rdt [C] (hors NQ)				Moyenne Rdt flux (hors NQ)			
		[C] <sub>entrée min</sub>	[C] <sub>entrée max</sub>	MAI	JUIN	AOUT	NOV.	MAI	JUIN	AOUT	NOV.
2 sites sortie boues activées, >1000 EH	NNO <sub>2</sub>	0.02	0.27	-8%	36%	17%	2%	18%	49%	40%	49%
	NNO <sub>3</sub>	0.20	2.70	-153%	21%	20%	-123%	-50%	46%	38%	-68%
	NNH4	0.09	2.95	59%	-67%	27%	-242%	71%	-22%	56%	-222%
3 sites sortie FPR, < 1000 EH	NNO <sub>2</sub>	0.27	2.10	-21%	25%	-52%	-118%	-15%	29%	-30%	-110%
	NNO <sub>3</sub>	31.3	68.8	48%	36%	38%	41%	53%	41%	36%	40%
	NNH4	6.2	17.8	36%	50%	53%	39%	57%	54%	67%	32%

#### d. Peu d'impact sur le phosphore

Les résultats du suivi du phosphore (Pt) sur les ZRV sont peu concluants : malgré des rendements sur concentration et sur flux pouvant atteindre très ponctuellement les 80% d'abattement, la plupart des bilans montrent des **rendements sur concentrations non significatifs dans 86% des cas**, voire négatifs (6% des cas), avec des **pics de phosphore en sortie de ZRV**.



**Figure 20 : Analyse des rendements sur le phosphore, hors NQ**

Sur les 5 sites, la moyenne sur 90% des valeurs conclut à des **rendements sur le phosphore total et les orthophosphates faibles à nuls** en concentration.

Au niveau des flux rejetés au milieu, lorsque la substance est quantifiée en sortie STEU, les ZRV ont montré une **influence positive dans 30% des cas pour le phosphore total (Pt)**, et **46% des cas pour les orthophosphates**. Mais cette réduction des flux passe essentiellement par la réduction des volumes rejetés (infiltration / évapotranspiration).

Les performances de la ZRV ne semblent pas liées à la concentration en sortie de STEU (Figure 21). Même au-delà de 10 mg Pt/l, la plupart des rendements restent proche de 0 (non significatifs).

Plus les concentrations entrantes sur la ZRV sont faibles (<2 mg Pt/l), plus on a de chance de constater une augmentation des concentrations en sortie ZRV (rendement négatif). Cependant, sur la même gamme de concentration, on observe également des rendements >70% même s'ils demeurent minoritaires.

En sortie de système performant sur ce paramètre (boues activées avec traitement du phosphore), la ZRV aura plutôt une influence négative sur ce paramètre.

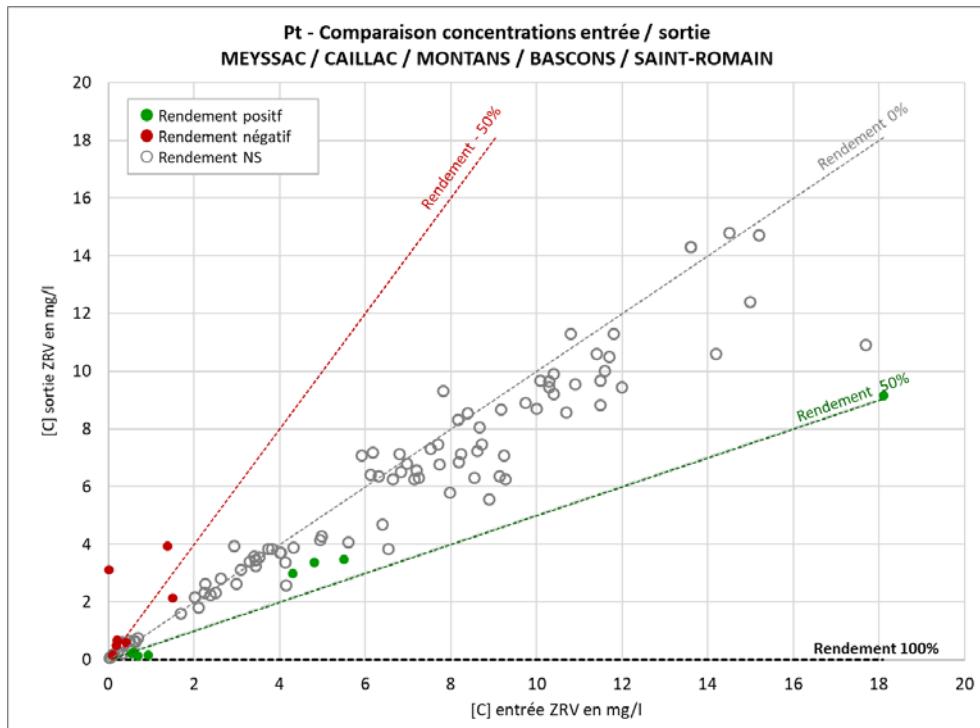


Figure 21 : Rendement de la ZRV sur les concentrations en Pt en fonction de la concentration entrante

D'autres études rapportées par diverses sources montrent néanmoins qu'un abattement du phosphore peut être constaté quand les concentrations en entrée ZRV sont élevées ( $> 5 \text{ mg/l}$ ).

La bibliographie souligne que l'abattement du phosphore est majoritairement lié à la sédimentation et l'adsorption<sup>[def.]</sup> dans les sols (cf. paragraphe 4.1.2). Les ions  $\text{PO}_4^3-$  peuvent également être assimilés directement par les plantes.

Un calcul de l'export théorique du phosphore par les plantes (§5.5.2b) confirme que le flux sortie du système par la végétation est faible.

Pour certains sites, cela permet toutefois d'expliquer une partie des rendements sur le phosphore, bien qu'il soit délicat de différencier ce mécanisme du phénomène d'adsorption et de précipitation dans les sédiments, jugés majoritaires.

Tableau 16 : Estimation des prélevements en phosphore par les plantes

	MEYSSAC	CAILLAC	MONTANS	BASCONS	SAINT-ROMAIN
Surface végétalisée estimée ( $\text{m}^2$ )	3255	1050	120	742	200
Exportation théorique (g/j)	de 26 à 130 g P/j	de 8 à 42 g P/j	de 1 à 5 g P/j	de 6 à 30 g P/j	de 2 à 8 g P/j
Perte moyenne <sup>3</sup> (flux P en g/j)	164 g/j	737 g/j	249 g/j	115 g/j	83 g/j
Perte max (flux P en g/j)	212 g/j	1499 g/j	315 g/j	174 g/j	89 g/j

Il faut noter qu'à plusieurs reprises, les rendements en flux sur les orthophosphates s'avèrent négatifs (19% des bilans effectués).

Ces orthophosphates pourraient provenir d'une minéralisation des boues de la ZRV ou d'un relargage dû à la dégradation des débris végétaux : dans certaines conditions, le phosphore adsorbé dans les sols ou précipité

<sup>3</sup> Bilan matière lorsque le paramètre est quantifié, et avec un rendement sur flux significatif positif, soit 30% des cas

peut être remis en suspension dans les eaux, tout comme lors de la senescence des végétaux (cf. dynamique du phosphore §4.1.2).

Ces résultats confirment que les phénomènes d'élimination du phosphore dans les ZRV sont liés à des **mécanismes de stockage qui restent temporaires**.

Sur les 5 sites qui sont en fonctionnement depuis plusieurs années, cette tendance se confirme puisque les rendements sur le phosphore sont majoritairement non significatifs.

## 6.2.2 Abattement bactériologique

L'abattement bactériologique peut être un motif d'implantation de ZRV pour des raisons sanitaires en vue de protéger certains usages : zones de baignade, de pêche...

D'après les résultats obtenus, l'abattement bactériologique peut être important au sein des ZRV.

Sur les sites les plus étendus, qui combinent à la fois un temps de séjour important et des surfaces d'eau libre dépourvues de végétation aquatique, l'abattement de la bactérie E.coli atteint très ponctuellement jusqu'à 5 ulog, et dépasse au moins une fois sur chaque site les 2 ulog.

L'abattement moyen observé reste toutefois plus faible, entre 1,2 et 1,5 ulog sur les sites ayant la plus grande surface, et < 1ulog sur les petits sites couverts de végétation.

Le graphique suivant représente la distribution des rendements par site. À noter que le dénombrement des bactéries E.coli se fait selon la méthode du nombre le plus probable (NPP), et qu'il n'y a pas de calcul d'incertitude associé. Pour ce paramètre, les rendements non significatif (NS) ne correspondent donc qu'aux rendements nuls (lorsque les concentrations entrée-sortie sont égales).

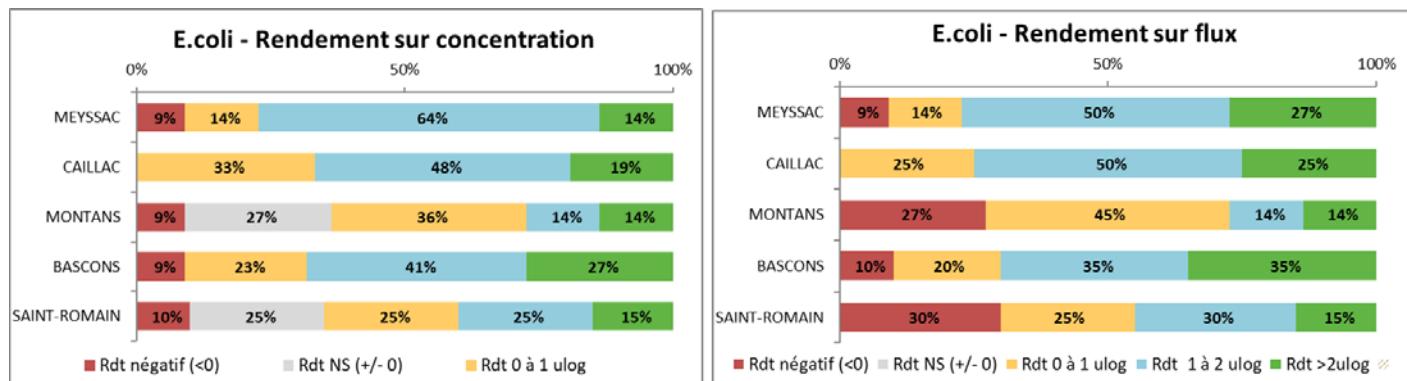


Figure 22 : Analyse des rendements sur E. Coli, hors NQ

La densité de végétation impacte les performances sur l'abattement bactériologique : présente en excès, elle nuit à la pénétration des rayons solaires et favorise les conditions de survie des bactéries (§4.2).

On a pu le constater sur les sites de Saint-Romain et Montans, où au mois de mai, lorsque la végétation est encore clairsemée, l'abattement bactériologique est le plus fort. En plein essor de la végétation (juin, août), la population en E.coli varie peu entre amont et aval.

### 6.2.3 Bilan 24h micropolluants

Les analyses de micropolluants [\[def.\]](#) ont été réalisées sur deux sites durant deux ans à raison de deux campagnes par an, soit **8 bilans** au total. Il s'agit des sites de Montans et Saint-Romain. Les micropolluants analysés lors des différentes campagnes de mesure sont listés dans le tableau en suivant. Il s'agit d'une sélection de substances dangereuses et émergentes classiquement recherchées dans les programmes de recherche nationaux (AMPERE, ARMISTIQ) :

Tableau 17 : Liste des micropolluants recherchés – Substances émergentes

Type de substance	Paramètre
Béta bloquants	Aténolol
	Métoprolol Tartrate
	Propranolol Hydrochloride
Antibiotiques	Sulfaméthoxazole
	Trimétoprime
	Erythromycine
	Roxythromycine
	Tyrosine
Autres médicaments	Carbamazépine
	Ibuprofène
	Diclofénac Sodium Salt
	Estrone
	17-beta-Estradiol
	Ethinylestradiol
Herbicides, pesticides	Glyphosate
	Glufosinate d'ammonium
	AMPA
	Atrazine
	Simazine
	Diuron
	Isoproturon
Alkyphénols	4 Nonylphénols Ramifiés
	4 ter Butylphénol
	Nonylphénol Diethoxylate
	Nonylphénol Monoethoxylate
	Nonylphénols
	Octylphénol para-tert
	Somme Nonylphénols
Hydrocarbures polycyclique (HAP)	HAP
PCB	PCB

Parmi tous les composés analysés, seuls certains ont été détectés lors des différentes campagnes de mesure. Le tableau suivant présente le nombre de bilans pour lesquels le composé a été détecté en quantité supérieure à la limite de quantification (LQ) à minima en entrée de ZRV.

Tableau 18 : Liste des micropolluants détectés en entrée ou sortie de ZRV

Nom du composé	Nbre bilan détecté ≥ LQ	LQ (µg/L)	Gamme de concentration observée (µg/L)	Détails sur la substance
Arsenic	8	0,2	2,4 – 17,8	Métaux
Cadmium	4	0,2	0,2 – 0,6	
Chrome total	7	0,2	0,2 – 1,5	
Cuivre	8	0,2	13,5 – 74,0	
Nickel	8	0,2	3,4 – 12,8	
Plomb	8	0,2 à 0,5	0,2 – 0,7	
Zinc	8	2	21,0 – 425,0	

Nom du composé	Nbre bilan détecté ≥ LQ	LQ (µg/L)	Gamme de concentration observée (µg/L)	Détails sur la substance
AMPA	8	0,05	1,42 – 6,52	Métabolite du Glyphosate (1071-83-6)
Carbamazébine	6	0,01	0,01 – 10,40	Incluse dans des médicaments traitant le système nerveux, dans des médicaments antiépileptiques ...
Diclofénac Sodium Salt	7	0,01	0,01 – 3,29	Anti-inflammatoire non stéroïdien
Diuron	1	0,02	0,05 – 0,09	Herbicide notamment utilisé comme désherbant en viticulture et pour désherber les bords de routes ou les voies ferrées
Glufosinate d'ammonium	1	0,05	0,05 – 1,18	Herbicide total
Glyphosate	8	0,05	0,11 – 1,98	Herbicide total (Roundup)
Ibuprofène	4	0,01	0,01 – 0,96	Anti-inflammatoire non stéroïdien
Nonylphénols	3	0,04	0,04 – 0,57	Composés organiques synthétiques utilisés par l'industrie dans de nombreux produits domestiques.
Roxythromicine	1	0,01	0,01 – 0,15	Antibiotique
Aténolol	1	0,01	0,01 – 0,03	Bêta-bloquant (utilisé en cas d'hypertension artérielle, infarctus du myocarde)
Benzo(a)Pyrène	1	0,001	0,001 – 0,002	Produit issu de la distillation fractionnée du charbon bitumineux renfermant des hydrocarbures aromatiques polynucléaires

Il est important de noter que certains composés n'ont été détectés qu'une seule fois : ces valeurs ponctuelles ne pourront être retenues dans l'analyse des résultats. De plus, les bilans ont été réalisés sur deux sites uniquement. Le comportement de ces sites permet d'obtenir une tendance mais elle est difficilement extrapolable à d'autres ZRV.

D'autre part, certains composés présents en trop petite quantité en sortie de STEU n'ont pu être quantifiés sur aucune des campagnes (concentration <LQ). C'est le cas des **HAP** et **PCB**. Les rendements relatifs à ces éléments ne seront donc pas calculés.

#### a. Les métaux/métalloïdes

Les métaux sont des composés présents dans les eaux, les sols ou les boues. Il n'existe pas de dégradation à proprement dite de ces composés. Le mécanisme d'abattement des métaux dans la matrice eau est majoritairement l'accumulation dans les boues. Il est donc nécessaire de porter une attention particulière au curage des boues pour éviter le relargage des métaux qui s'y sont accumulés.

Pour la majorité des métaux, une tendance d'abattement se dessine, comme le montre la figure ci-dessous.

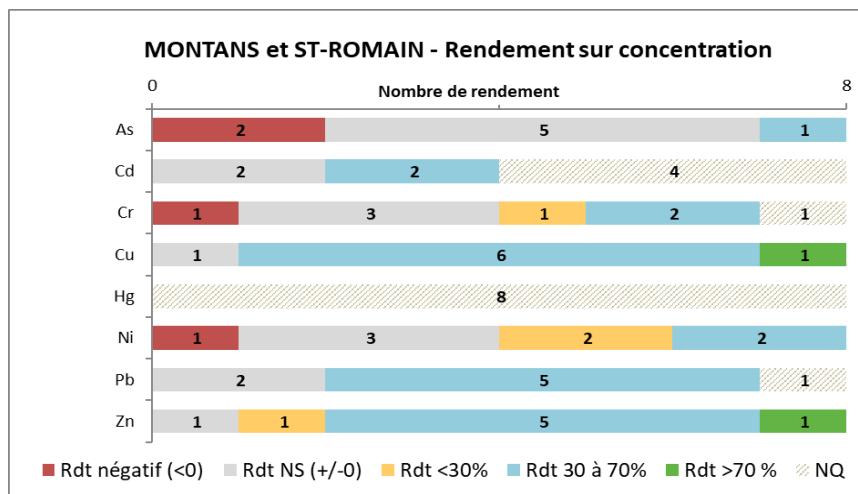


Figure 23 : Synthèse des rendements sur concentrations relatifs aux métaux et métalloïdes

Le zinc et le cuivre présentent de bons rendements. En effet, ces métaux sont présents en relativement grande quantité en entrée et en sortie de STEU. L'efficacité de la ZRV est donc accrue par rapport à des polluants métalliques comme le chrome, le cadmium, le nickel ou l'arsenic où l'abattement est moins net. Le plomb présente également de bons rendements. Le cas du mercure est particulier de par les concentrations observées : pour chaque bilan, la concentration en entrée et en sortie de ZRV est inférieure à la limite de quantification. Il n'est donc pas possible de calculer de rendement significatif sur de telles valeurs.

Le rendement moyen sur les concentrations en cuivre est de 40%, il est de 53% pour le zinc et de 36% pour le plomb. Les bilans par paramètres, comparant la concentration en entrée et en sortie de ZRV avec des valeurs de référence, sont présentés aux figures suivantes.

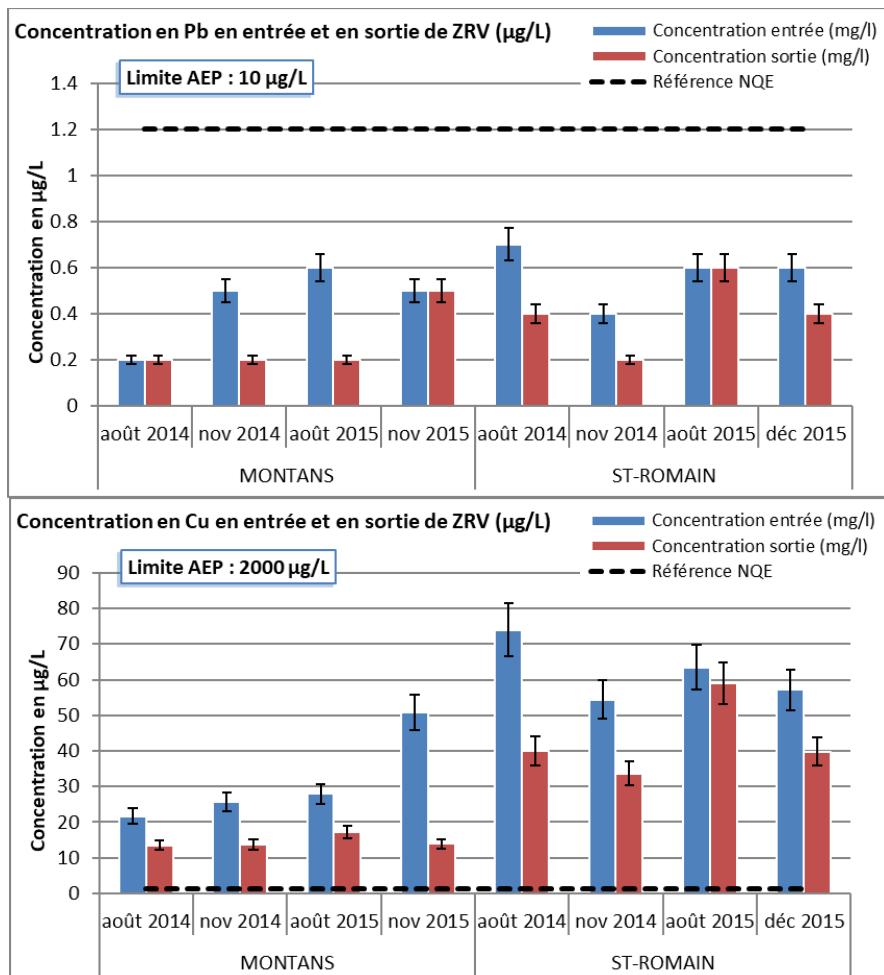


Figure 24 : Concentration en plomb et cuivre en entrée et en sortie de ZRV

Ces graphiques permettent d'observer l'abattement des micropolluants métalliques.

Dans le Tableau 19, ces bilans sont mis en comparaison à titre indicatif avec la limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (Arrêté du 11 janvier 2007) et la NQE<sup>[def.]</sup> (Norme de Qualité Environnementale), définie dans le contexte de la Directive Cadre sur l'Eau.

Quel que soit le rendement, la concentration en éléments métalliques est toujours inférieure à la limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Le zinc, quant à lui, n'est pas réglementé pour l'eau potable.

Seuls le plomb et le chrome sont également inférieurs au repère de la NQE<sup>[def.]</sup>.

Tableau 19 : Concentration en métalloïdes comparés aux valeurs de référence

Paramètre	Limite de Quantification (µg/L)	Limite de qualité Eau Potable (µg/L)	NQE (µg/L)	Concentration observée en entrée de ZRV (µg/L)		Concentration observée en sortie de ZRV (µg/L)	
				MIN	MAX	MIN	MAX
<b>Arsenic</b>	0,2	10	4,2	2,4	14,2	2,9	17,8
<b>Cadmium</b>	0,2	5	0,25	0,2	0,6	0,2	0,5
<b>Chrome</b>	0,2	50	3,4	0,2	1,5	0,2	1,4
<b>Cuivre</b>	0,2	2000	1,4	21,7	74,0	13,5	59,0
<b>Mercure</b>	0,1	1	0,07	-	-	-	-
<b>Nickel</b>	0,2	20	4	4,4	11,9	3,4	12,8
<b>Plomb</b>	0,2 à 0,5	10	1,2	0,2	0,7	0,2	0,6
<b>Zinc</b>	2	-	3,1	56,0	425,0	21,0	109,0

Les études réalisées sur les sites de Montans et Saint-Romain permettent donc d'observer une tendance quant à l'abattement des micropolluants inorganiques : les performances épuratoires sur les métaux présents en grande quantité tels que le cuivre et le zinc sont relativement élevées. De particulièrement fortes concentrations en zinc sont observées sur le site de Montans ; en effet cette commune possède un réseau unitaire, des pics de zinc sont alors parfois constatés lors de fortes pluies (lessivage). Le plomb est également retenu par la ZRV. Il n'est cependant pas possible de conclure quand à un réel abattement significatif du nickel, du chrome, du cadmium, du mercure et de l'arsenic.

Ces résultats sont comparables avec ceux de la littérature scientifique (cf. paragraphe 7.3 p93).

Il est important de noter que l'abattement des micropolluants métalliques par la ZRV est dû en grande partie à l'accumulation de ces métaux dans les boues. Il ne s'agit pas d'une dégradation. L'accumulation des métaux dans les boues au cours du temps a été mesurée sur des analyses réalisées sur les sédiments des différents sites (cf. 6.5 Boues). **Il est donc important de curer régulièrement les boues des ZRV pour éviter le relargage des métaux accumulés dans ces boues.**

NOTA : Le rôle des végétaux dans le traitement des eaux usées est négligeable pour des effluents peu chargés. Voir fiche *Le véritable rôle des végétaux dans les eaux usées* rédigée par le groupe EPNAC [17].e.

#### b. Les micropolluants organiques

Les micropolluants organiques, principalement les résidus médicamenteux et les produits phytosanitaires (herbicides, pesticides, ...), ont également été analysés. Les éléments n'ayant jamais été quantifiés dans les eaux (PCB, HAP, ...) ou n'ayant été quantifiés qu'une seule fois (Diuron, le Glufosinate d'ammonium, la Roxythromicine, l'Aténolol et le Benzo(a)Pyrène) ne seront pas traités.

Les rendements des différents composés sont renseignés sur le graphique suivant.

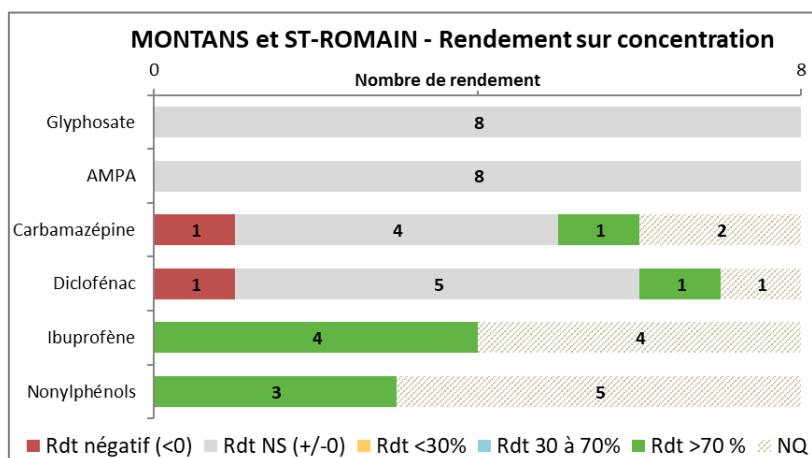


Figure 25 : Synthèse des rendements relatifs aux micropolluants organiques quantifiés

Lorsque la substance est quantifiée dans le rejet de la STEU, le rendement moyen sur concentration est de 95% pour l'ibuprofène et 91% pour les nonylphénols. Toutefois il est important de nuancer ces moyennes, celles-ci étant calculées respectivement sur 4 et 3 valeurs.

Pour ce qui concerne le glyphosate, le diclofénac, la carbamazépine et l'AMPA (produit de la dégradation du glyphosate), les résultats ne montrent pas une tendance à un abattement complémentaire. En effet, tous les rendements calculés pour le glyphosate et l'AMPA sont non significatifs (rendements proches de 0), et ce pour chaque campagne de mesure réalisée.

Les résultats concernant le diclofénac et la carbamazépine, tous deux des résidus médicamenteux, ne permettent pas de tirer de conclusion quant à un éventuel abattement lors du passage dans la ZRV.

*Ces résultats sont comparables avec ceux de la littérature scientifique (cf. paragraphe 7.3 p93).*

Il est important de rappeler que les métabolites (molécules de dégradation) des substances étudiées n'ont pu être analysées pour des raisons de coût. Aussi, si une molécule disparaît, il est difficile de savoir si elle est totalement dégradée ou si elle est transformée et de surcroît de prévoir la toxicité de ce composé de dégradation.

## 6.2.4 Physico-chimie

Les paramètres physico-chimiques de l'eau (conductivité, pH, température, potentiel redox) sont importants à deux titres :

- D'une part, les eaux rejetées au milieu naturel peuvent avoir un impact direct sur les écosystèmes aquatiques, en modifiant l'équilibre physico-chimique de l'eau.
- D'autre part, les paramètres tels que la température, le potentiel-redox, le pH de l'eau, régulent les mécanismes chimiques responsables de l'élimination des polluants.

**Pour rappel les paramètres pH, température et oxygène dissous font partie des critères DCE pour l'évaluation de la qualité écologique des eaux de surface, telle que défini dans l'arrêté du 25 janvier 2010 [E].**

### a. Retour à un pH neutre

En sortie des trois sites constitués de filtres plantés de roseaux, des pH parfois acides ont été mesurés (entre 5.5 et 6.5 unités).

A contrario en sortie de boues activées, le pH peut parfois atteindre des pointes à 8 unités.

Les suivis effectués en entrée et sortie de ZRV montrent le rôle tampon de la zone, qui permet de lisser le pH autour de valeurs neutres (entre 7 et 8).

**Sur certains sites la ZRV permet de remonter le pH d'environ 1 à 2 unités.**

### b. Une réoxygénération de l'eau ...

Une corrélation entre les variations du taux d'O<sub>2</sub> dissous, et de la luminosité du site (flux de photon disponible pour la photosynthèse) a été mise en évidence à plusieurs reprises lors des campagnes de mesure.

Cette corrélation tend à montrer un impact de l'activité biologique et photosynthétique sur les paramètres physico-chimiques :

- En journée, la photosynthèse des plantes (principalement algues immergées) consomme le CO<sub>2</sub> de l'eau et libère de l'O<sub>2</sub>.
- Pendant la nuit, les plantes et les organismes aérobies (respiration) consomment l'O<sub>2</sub> et libèrent du CO<sub>2</sub>.

Les paramètres physico-chimiques de l'eau suivent donc des variations journalières, témoins de l'activité biologique. Les pics d'oxygène dissous sont le plus souvent constatés en mai et juin, ce qui confirme que l'activité photosynthétique est liée à l'optimum de la croissance végétale qui a lieu au printemps.

**En traversant la ZRV, l'eau se réoxygène naturellement** (échange de surface, turbulences, photosynthèse). **Mais la principale source de réoxygénération mise en avant lors de cette étude est la présence de chute d'eau.**

Une analyse du taux d'oxygène dissous en amont et en aval de chutes d'eau montre que celles-ci sont responsables en grande partie des pics d'oxygène mesurés, avec un gain de saturation de 20% pour une chute de 30 cm, et une eau ponctuellement suroxygénée pour une chute plus haute.

#### c. ... mais des risques d'anoxie

Sur les deux plus grands sites étudiés (Meyssac et Caillac), on constate à plusieurs reprises une **diminution du taux d'oxygène dissous, avec un rejet parfois anoxique**.

La végétation dense et le tapis de lentilles d'eau limitent la pénétration de la lumière dans les ouvrages, ce qui limite la photosynthèse des algues.

Dans ces conditions, la respiration devient prépondérante sur la photosynthèse.

Ces conditions anaérobies ne sont pas totalement défavorables **puisque elles peuvent contribuer aux réactions de dénitrification** et donc à l'élimination de l'azote. Elles restent toutefois peu souhaitables au niveau du rejet puisque incompatibles avec le bon développement de la faune et de la flore aquatique et l'objectif de bon état des cours d'eau.

#### d. Mise à température de l'eau

Les mesures permettent de confirmer qu'en traversant la ZRV, l'eau se met progressivement à température ambiante.

Cela permet de rejeter au cours d'eau une eau tempérée, plus proche de la température naturelle des milieux récepteurs.

En été, ce phénomène peut devenir problématique lorsque les températures sont très élevées, et que l'eau dépasse les seuils de bonne qualité écologique [E] (21,5°C pour les eaux salmonicoles, 25,5°C pour les eaux cyprinicoles). De même en hiver, si la température de l'eau diminue trop, les réactions microbiologiques de dénitrification sont considérablement réduites.

#### e. Influence sur le potentiel d'oxydo-réduction et la conductivité

Les variations de potentiel d'oxydo-réduction et de la conductivité peuvent influencer les réactions physico-chimiques dans l'eau. Sur ces paramètres, les mesures montrent des variations journalières, parfois corrélées avec les variations d'oxygène dissous (notamment pour le potentiel d'oxydoréduction). Toutefois les fluctuations constatées sont variables, et il est difficile d'en évaluer l'impact sur la qualité de l'eau.

## 6.3 Hydraulique

Le tableau suivant présente les résultats obtenus sur l'hydraulique des ZRV et détaillés dans les paragraphes suivants.

Tableau 20 : Bilan hydraulique sur les ZRV

		MEYSSAC	CAILLAC	MONTANS	BASCONS	ST ROMAIN
Débit moyen journalier	entrée	478 m <sup>3</sup> /j	421 m <sup>3</sup> /j	94 m <sup>3</sup> /j	25 m <sup>3</sup> /j	16 m <sup>3</sup> /j
	sortie	384 m <sup>3</sup> /j	276 m <sup>3</sup> /j	90 m <sup>3</sup> /j	29 m <sup>3</sup> /j	16 m <sup>3</sup> /j
Lame d'eau entrante (estimée)	Moy	110 mm/j	214 mm/j	499 mm/j	34 mm/j	80 mm/j
Taux de restitution hydraulique	Min	63%	20%	47%	0%	52%
	Max	100%	89%	113%	280%	213%
	MOY	80%	62%	94%	93%	103%
Lissage des pointes de débit <sup>4</sup>	Min	19%	31%	-3%	-117%	-124%
	Max	66%	79%	49%	89%	44%
	MOY	41%	55%	25%	13%	-2%
Coef. de pointe moyen	entrée	1.8	2.0	2.3	2.1	1.5
	sortie	1.3	1.4	1.9	1.8	1.5

<sup>4</sup> \*(1-Q<sub>max</sub> sortie/Q<sub>max</sub> entrée en m<sup>3</sup>/h)

### 6.3.1 Réduction des débits

Dans une démarche globale de protection des masses d'eau, les ZRV ont pour objectif principal la diminution des flux de polluants par la diminution des volumes d'eau rejetés. Cette diminution passe par deux mécanismes que sont l'infiltration dans le sol et/ou l'évapotranspiration.

Sur les sites étudiés, un site affiche un objectif de « zéro rejet » 6 mois par an (Bascons), et un autre (Caillac) affiche un objectif de diminution des volumes comme priorité.

Sur ces deux sites, en période estivale on observe des réductions importantes des volumes rejetés au milieu, avec une diminution maximale des débits journaliers de 80 à 100%.

Sur plusieurs sites, l'analyse des débits est fortement perturbée par des apports d'eaux extérieurs. Plusieurs des ZRV suivies ont été construites en bordure de cours d'eau, sur des zones inondables ou soumises à l'influence des variations de niveaux de nappe.

En période de nappe haute ou après de fortes pluies, les zones drainent les eaux du sol, ce qui augmente les volumes rejetés et peut entraîner un phénomène de dilution.

**Sur un même site, les écarts sur les débits rejetés peuvent être très importants, ce qui confirme la difficulté pour dimensionner de telles zones aux vues des nombreux paramètres qu'il faudrait considérer.**

### 6.3.2 Tampon hydraulique, lissage des pointes

Le lissage hydraulique correspond au tamponnement de la pointe de débit instantanée. A volume journalier égal, le débit horaire maximum rejeté au milieu sera majoritairement plus faible en sortie de ZRV qu'en sortie de STEU (Figure 26). Ce lissage hydraulique des pointes de débit en sortie de zone est constaté dans la quasi-totalité des cas, ce qui permet une protection physique du milieu récepteur. En effet, cela peut réduire l'érosion des berges due aux à-coups hydrauliques, lisser le pic de charge polluante dans le milieu récepteur par temps de pluie.

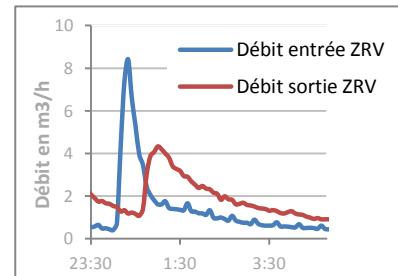


Figure 26 : Exemple de l'impact d'une ZRV sur la pointe de débit

Ce phénomène est d'autant plus vrai lorsque le linéaire (chemin hydraulique) de la zone est grand, avec une pente faible. Sur des sites comme Caillac ou Meyssac, composés d'une succession d'ouvrages, la différence entre le débit de pointe maximal en entrée ZRV et celui en sortie s'élève à 40-55% de moyenne, et peut même atteindre ponctuellement 80% de réduction. Des ouvrages composés d'un grand linéaire et de parcours sinuieux combinés à un temps de séjour important dans la ZRV permettent d'obtenir le meilleur résultat de régulation des débits. Un temps de séjour important sur des ouvrages rectilignes et en parallèle n'aura que peu d'impact sur le lissage des débits.

## 6.4 Perméabilité des sols et infiltration

L'infiltration est un des critères premiers recherché sur les ZRV.

Les retours d'expérience montrent que dans la majorité des cas, aucune étude préalable et donc aucun test d'infiltration n'est généralement réalisé sur les sites. Dans les rares cas où une étude préalable est réalisée sur le site dédié à la ZRV, seul un ou deux tests sont réalisés sur le site, complétés par l'étude géotechnique de la STEU dans son ensemble. Les résultats de ces essais de perméabilité sont souvent très variables.

Une mesure de perméabilité fiable est difficile à obtenir car la conductivité hydraulique est variable dans le temps : elle évolue en fonction de la saturation du sol, des réactions physico-chimiques, de la charge polluante des eaux, de la charge hydraulique journalière... Ces résultats sont confirmés par la bibliographie (cf. §4.4).

Lors de l'étude, une mesure de perméabilité a été effectuée sur le terrain de la ZRV et dans les ouvrages en eau grâce à la mise en place de tests double anneau adaptés. La méthodologie de mesure mise en place dans le cadre de l'étude est détaillée en ANNEXE A5.

Le tableau suivant permet de visualiser les résultats du suivi de la perméabilité des sols dans les ZRV.

Tableau 21 : Suivi de perméabilité sur les 5 sites

Perméabilité $K$ en m/s	$> 10^{-2}$	$10^{-2} \text{ à } 10^{-6}$	$10^{-6} \text{ à } 10^{-8}$	$< 10^{-8}$
Aptitude sol à l'infiltration	Très bonne	Bonne à moyenne	Faible	Nulle

	Meyssac	Caillac	Montans	Bascons	Saint Romain
Type de sol	Argile	Limons argileux	Argile	Argile sableuse	Alluvions argileuses
Théorique	Nulle	Bonne à faible	Nulle	Faible à nulle	Bonne à faible
Etude initiale	-	Bonne*	-	Bonne**	Faible**
Sol en place 2013	Faible	Bonne	NR <sup>1</sup>	Faible	Nulle
Dans ouvrage 2013	Faible	Nulle	Faible	Nulle	Bonne <sup>2</sup>
Dans ouvrage 2014	Faible à nulle	Faible à nulle	Nulle	Faible à nulle	Faible

\* Etude pédologique / \*\* Test Porchet

1 : terrain fait de remblai type gravats, test impossible à réaliser

2 : test très contraint par la végétation, jugé peu représentatif

On remarque la grande disparité des résultats sur un même site, avec d'une manière générale des perméabilités plus élevées mesurées lors des études initiales et sur le sol en place à proximité des ouvrages.

#### 6.4.1 Étude de cas

##### a. Le cas de Bascons

Sur ce site, l'objectif est d'atteindre le zéro rejet 6 mois par an. Les mesures faites par le concepteur, par le bureau d'étude géotechnique en phase projet et par IRH lors de l'étude donnent 3 valeurs différentes :

- Les essais de perméabilité effectués lors des études préliminaires affichent un coefficient de perméabilité de  $1,2 \text{ à } 6,9 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ , soit **104 à 596 mm/j** (ce qui montre déjà une grande variabilité).

La lame d'eau moyenne appliquée sur ce site est de **34 mm/j**. L'infiltration devrait donc être totale.

- Les mesures effectuées par IRH après la mise en service des ouvrages montrent des résultats de perméabilité très inférieurs, avec des coefficients de perméabilité de  $3,5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$  sur le sol en place, et de  $6 \cdot 10^{-8} \text{ à } < 10^{-11} \text{ m/s}$  dans les roubines, soit entre **5 et 30 mm/j**.

Ces résultats sont plus cohérents avec les observations terrains qui montrent que le zéro rejet est difficilement atteint.

Ces différences de perméabilité mesurées peuvent s'expliquer par une saturation du sol en eau et/ou un colmatage progressif.

##### b. Le cas de Caillac

L'infiltration est un des objectifs du site. Des études préliminaires assez poussées ont été réalisées sur ce site. La note hydraulique du concepteur estime la valeur de perméabilité du sol en place à  $1,4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  (valeur basée sur l'étude pédologique et hydraulique), soit **1210 mm/j**.

La lame d'eau moyenne appliquée sur ce site est de **214 mm/j (167 m<sup>3</sup>/j)**, soit très inférieure à la capacité d'infiltration du sol.

Dans sa note hydraulique, le concepteur a démontré que dès lors que le volume infiltré a complètement saturé le sol, alors **seul le mécanisme de transfert latéral est effectif**, ce dernier étant dépendant de la section de transit, de sa largeur et du gradient hydraulique (pente d'écoulement de la nappe).

En définitive, la note de faisabilité de la ZRV conclut que dès que le sol sera saturé, le potentiel d'absorption passera de  $1800 \text{ m}^3/\text{j}$  à  $36 \text{ m}^3/\text{j}$  (soit 46 mm/j).

Les résultats des tests d'infiltration fait par IRH ont montré les résultats suivants :

- sol en place :  $5,27 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ , ce qui reste cohérent avec les résultats des études préliminaires.
- noues, bassins en eau:  $1,4 \cdot 10^{-7} \text{ à } < 1.10^{-8} \text{ m/s}$ , soit au maximum **12 mm/j**.

Ce résultat confirme que la perméabilité du sol en place n'a pas évolué alors qu'au fond des ouvrages, le sol est saturé, avec une perméabilité très faible.

### 6.4.2 Leçon à tirer

Il est important de souligner que sur la base de la conductivité du sol en place, l'implantation d'une ZRV avec pour objectif l'infiltration peut avoir toute sa justification. Néanmoins, les tests de perméabilité réalisés plusieurs années après la mise en eau des ouvrages ainsi que les observations de terrain **montrent la limite de ce genre de test sur le sol en place avant travaux**.

Au sein de la ZRV, le sol va inévitablement se saturer et se colmater, et la perméabilité sera donc inférieure à la perméabilité mesurée en phase préliminaire, ce qui montre la nécessité de prendre en compte des coefficients de sécurité importants. A noter que des recherches sur le sujet sont en cours, et d'autres tests ou méthodologies adaptés au ZRV pourront prochainement être proposés.

Ces conclusions ne s'appliquent pas aux ZRV situées en milieu karstique ou autre sol fracturé, où les mécanismes de perte sont très différents. Ces cas particuliers doivent être soumis à des études hydrogéologiques spécifiques plus poussées et où l'impact sur le milieu récepteur doit être évalué.

## 6.5 Boues

### 6.5.1 Quantité

Sur tous les sites, un dépôt important de boues est constaté, soit au niveau de l'entrée ZRV (boues issues de la STEU), soit dans les ouvrages végétalisés (humus).

Chacun des sites suivis montre un intérêt pour la compréhension de la formation des dépôts de boues dans les ZRV :

- **Meyssac**: ce site a été suivi juste après sa mise en route. Ce suivi a permis d'observer un dépôt progressif de boues sur tous les ouvrages, **d'environ 5 cm par an**. L'accumulation est d'autant plus rapide sur le premier ouvrage qui retient les départs de boues (20 cm en 3 ans).
- **Montans**: Le premier bassin qui reçoit le trop-plein du poste de relevage a été curé en 2014 (soit après 7 ans de service). Il y avait environ 20 cm de dépôts au moment de l'intervention, comme en 2013. 6 mois après le curage, le niveau de dépôts était déjà revenu à une hauteur importante d'environ 15 cm. On peut supposer que ce bassin stocke les boues en cas de trop-plein mais que **celles-ci sont régulièrement lessivées vers le bassin aval**, ce qui explique une hauteur constante sur les trois ans de suivi. Dans les bassins aval densément végétalisés, **les dépôts d'humus (boue + végétation) lors du curage atteignaient au moins 50 cm**.
- **Bascons**: Sur ce site les hauteurs de boues dans les ouvrages sont très variables d'une année sur l'autre (entre 10 et 30 cm). Les noues étant régulièrement mises à sec, **une minéralisation des boues se fait** avant un nouveau remplissage.
- **Caillac**: Tous les hivers, le site est mis à sec et la végétation exportée. Il y a également peu de départ de boues depuis la STEU. En 5 ans, **la ZRV ne s'est donc quasiment pas colmatée**, et les dépôts (essentiellement d'humus) ne dépassent pas quelques centimètres.
- **St Romain**: Après le curage en 2014, un nouveau dépôt de boues s'est rapidement formé en tête des ouvrages (seulement sur quelques mètres), pour atteindre **5 à 10 cm en 1 an**.



Figure 27 : Couche de dépôts dans la ZRV de Montans (photo prise lors du curage)

## 6.5.2 Qualité

Afin d'évaluer le potentiel d'accumulation des boues, un prélèvement et une analyse des boues collectées en fond d'ouvrage ont été effectués sur les différents sites. Les analyses ont porté sur les teneurs en métaux, HAP et PCB.

Sur Montans, deux points de prélèvement différents ont été réalisés : dans le bassin n°1, et dans le premier étage du bassin n°2.

Le tableau suivant synthétise les résultats de ces analyses pour les 3 ans de suivi.

Tableau 22 : Synthèse des analyses sur les boues de la ZRV

	Année	MVS	MM	Somme Cr+Cu+Ni+Zn	Somme des HAP	Somme des PCB
	% MS	% MS	mg/kgMS	mg/kgMS	mg/kgMS	
<b>Norme pour l'épandage</b>				4000		0.8
<b>BASCONS</b>	<b>2013</b>	19	/	440	0.055 < x < 1.759	0 < x < 0.07
	<b>2014</b>	9.3	60.4	186	0 < x < 4.8	0 < x < 0.07
	<b>2015</b>	15.6	83.3	526	0 < x < 3.2	0 < x < 0.07
<b>CAILLAC</b>	<b>2013</b>	<i>Pas de prélèvement</i>				
	<b>2014</b>	7.1	90	304	0.626 < x < 1.026	0.02 < x < 0.08
	<b>2015</b>	13.8	89.7	447	0.492 < x < 0.942	0 < x < 0.07
<b>MEYSSAC</b>	<b>2013</b>	30	/	587	1.74 < x < 1.94	0 < x < 0.07
	<b>2014</b>	12.5	75.5	294	0.377 < x < 0.927	0 < x < 0.07
	<b>2015</b>	30.4	65.7	850	0.24 < x < 3.39	0 < x < 0.07
<b>MONTANS (B1)</b>	<b>2013</b>	26.2	/	740	2.916 < x < 3.066	0 < x < 0.07
	<b>2014</b>	32.9	66.1	463	18.64 < x < 18.64	0 < x < 0.07
	<b>2015*</b>	26	69.7	930	1.814 < x < 1.964	0 < x < 0.07
<b>MONTANS (B2)</b>	<b>2013</b>	21.4	/	337	2.44 < x < 2.64	0 < x < 0.07
	<b>2014</b>	44.6	54.2	1050	4.07 < x < 7.48	0.15 < x < 0.51
	<b>2015*</b>	11.8	80.5	368	0.631 < x < 0.981	0 < x < 0.07
<b>SAINT-ROMAIN</b>	<b>2013</b>	<i>Pas de prélèvement</i>				
	<b>2014</b>	35.1	60.7	2500	3.42 < x < 7.14	0 < x < 0.07
	<b>2015*</b>	15.2	81.5	696	1.8 < x < 2.1	0 < x < 0.07

\*Année suivant curage

**Note : entre 2014 et 2015, les sites de Montans et Saint Romain ont été curés. Les prélèvements 2015 correspondent donc à des boues « neuves ».**

**La limite de quantification des micropolluants est variable en fonction de la qualité et de la quantité de boue, et de la méthodologie employée par le laboratoire. De ce fait, la comparaison entre valeurs s'avère délicate, la limite de quantification pour un paramètre pouvant être multiplié par 10.**

Dans les boues, on retrouve en majorité du cuivre et du zinc, en concentration fréquemment supérieure à 100 mg/kgMS. Ces 2 métaux sont ceux qu'on retrouve aussi habituellement en quantité dans les eaux usées domestiques :

- Le zinc provient essentiellement des ruissellements des eaux pluviales (gouttières en zinc) et de certains composés cosmétiques (shampooing, etc.)
- Le cuivre peut provenir de la corrosion des canalisations d'eau potable et du lessivage des terres agricoles (produits phytosanitaires couramment utilisés en viticulture et arboriculture).

Les analyses révèlent très peu de PCB dans les boues des ZRV suivies.

L'effet d'accumulation n'est pas mis en évidence puisque les concentrations varient à la hausse comme à la baisse d'une année sur l'autre. Ces variations peuvent être dues à la précision de l'analyse, à la composition des boues (plus ou moins minérales) ou à des modifications du dépôt suite à des lessivages réguliers de la zone ou des relargages des polluants dans l'eau.

Sans curage, les métaux et les HAP ne sont pas piégés durablement dans la ZRV et peuvent ponctuellement contaminer le milieu récepteur.

Sur le site de Saint-Romain, suite au curage des boues, les concentrations en métaux et HAP en 2015 sont globalement inférieures à celles mesurées en 2014. Ce résultat montre qu'à priori les boues récentes sont moins concentrées que celles accumulées depuis 4 ans.

Sur Montans, le curage semble surtout avoir un effet sur les concentrations en HAP qui sont diminuées.

Les HAP sont des composés que l'on retrouve facilement dans les eaux de lessivage de voirie. On les retrouve donc en plus grande quantité dans les réseaux unitaires que séparatifs. Ces HAP peuvent aussi également être produits par la combustion de matière organique. Sur les ZRV où les végétaux sont parfois brûlés lors de l'entretien, leur présence est peu étonnante.

Dans tous les cas les boues issues du curage des ZRV sont compatibles avec la réglementation relative à l'épandage de boues domestiques et peuvent donc être valorisables au titre de déchet de l'assainissement.

## 6.6 Milieu récepteur

### 6.6.1 Eaux superficielles

Pour évaluer l'influence de la ZRV sur l'état des masses d'eaux réceptrices, plusieurs mesures et calculs d'impact ont été effectués, comme décrit au paragraphe 5.5.3. Les résultats de cette modélisation sont donnés en ANNEXE B4.

L'objectif est de comparer, la qualité du cours d'eau amont/aval du système (STEU+ZRV) avec la qualité du cours d'eau amont/aval du système STEU sans ZRV. Or en l'absence d'état initial sans ZRV, nous ne disposons pas de mesures effectuées sur le milieu.

Pour évaluer l'impact de la STEU sans ZRV, il est donc nécessaire de passer par un calcul théorique (cf. méthode décrite au §5.5.3). Il s'agit d'un calcul de dilution simplifié qui ne prend pas en compte les phénomènes d'autoépuration<sup>[def.]</sup> du cours d'eau et autres paramètres extérieurs.

Pour appréhender l'impact de la STEU avec ZRV, nous disposons de mesures effectuées sur le milieu et du calcul théorique. Toutefois, la comparaison de la qualité réelle mesurée en aval de la ZRV montre, dans plusieurs cas, des résultats différents de la qualité théorique calculée. A vu de ce constat, il paraît difficile de s'appuyer sur la qualité théorique du rejet de la STEU sans ZRV en valeur absolue. Toutefois, pour essayer d'appréhender l'influence de la ZRV sur l'état des masses d'eaux réceptrices, on peut comparer les valeurs théoriques aval STEU +ZRV et aval STEU sans ZRV.

Cette comparaison montre qu'à plusieurs reprises, la ZRV peut contribuer à améliorer l'état des eaux de surface.

À noter que les conditions hydriques ont particulièrement été sévères lors des mesures, et les résultats du mois de novembre correspondent à des conditions d'étiage, comme le mois d'août.

Le tableau suivant présente les résultats de la modélisation de la classe d'état en prenant en compte chaque paramètre analysé.

Tableau 23 : Impact de la ZRV sur l'état du milieu récepteur, par paramètre

Classe d'état théorique avec la ZRV par rapport à l'état sans la ZRV :	Meyssac	Montans	St Romain
	(66 analyses)	(66 analyses)	(44 analyses)
Améliore la classe d'état théorique d'un paramètre	13 fois	12 fois	12 fois
Déclasse la classe d'état théorique d'un paramètre	7 fois	1 fois	0 fois

Ce calcul reste toutefois très théorique et dépendant des conditions d'interventions.

Ces paramètres physico-chimiques ne sont qu'une partie des critères d'évaluation de l'état biologique des masses d'eaux.

**L'amélioration de la classe d'état pour un ou plusieurs paramètres ne garantit pas l'atteinte des objectifs de la DCE, mais atténue l'impact du rejet.**

On remarque que dans certain cas, la ZRV peut aussi être à l'origine d'une dégradation de la classe d'état d'un paramètre par rapport au rejet de la STEU seul. A noter que 4 des 7 déclassements modélisés sur Meyssac sont observés en 2015, alors que le cours d'eau en amont du rejet était quasiment à sec, ce qui augmente l'incertitude sur la mesure.

A plusieurs reprises, sur le site de Montans et sur le site de Meyssac, la ZRV entraîne un **déclassement de la qualité du milieu récepteur sur les paramètres nitrites (NO<sub>2</sub>) et phosphore (Pt, PO<sub>4</sub>)**, ce qui peut être très pénalisant pour le classement d'état biologique du cours d'eau.

Le tableau suivant présente l'impact modélisé (cf. §5.5.3) de la ZRV sur le classement global de l'état du milieu récepteur. Il ne prend en compte que les paramètres physico-chimiques (IBD non disponibles pour la situation STEU sans ZRV)

Tableau 24 : Impact de la ZRV sur la classe d'état du milieu récepteur

		AOUT			NOVEMBRE			Comparaison de l'impact sur le milieu récepteur (état théorique)	
		Amont mesuré	Aval théorique		Amont mesuré	Aval théorique			
			Avec ZRV	Sans ZRV		Avec ZRV	Sans ZRV		
MEYSSAC	2013	Bon	Moyen	Médiocre	Limite le déclassement de l'état du milieu récepteur	Bon	Bon	Bon	Ne modifie pas l'impact du rejet (maintien d'état)
	2014	Moyen	Moyen	Médiocre		Bon	Moyen	Moyen	Ne compense pas l'impact du rejet (déclassement)
	2015	Moyen	Médiocre	Médiocre		Mauvais	Médiocre	Médiocre	Ne modifie pas l'impact du rejet (amélioration d'état)
MONTANS	2013	Moyen	Moyen	Moyen	Ne compense pas l'impact du rejet (maintien d'état)	Moyen	Médiocre	Médiocre	Ne compense pas l'impact du rejet (déclassement)
	2014	Bon	Moyen	Médiocre		Moyen	Médiocre	Médiocre	Ne compense pas l'impact du rejet (déclassement)
	2015	Bon	Mauvais	Mauvais		Bon	Médiocre	Médiocre	Ne compense pas l'impact du rejet (déclassement)
SAINT-ROMAIN	2013	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Ne compense pas l'impact du rejet (maintien d'état)	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Ne compense pas l'impact du rejet (maintien d'état)
	2014	Mauvais	Mauvais	Mauvais		Mauvais	Mauvais	Mauvais	Ne compense pas l'impact du rejet (maintien d'état)
	2015	/	/	/		/	/	/	/

Si certains paramètres sont améliorés par la ZRV, celle-ci ne parvient pas à compenser l'impact de la STEU, même si on peut noter que sur Montans en août 2014 et sur Meyssac en août 2013 et 2014 la ZRV permettrait de gagner une classe d'état écologique (de médiocre à moyen).

Sur les sites de Saint Romain et ponctuellement sur Montans ou Meyssac le milieu est déjà en mauvais état : la reconquête du bon état doit passer par d'autres actions.

L'évaluation de l'état biologique des cours d'eau se fait également par l'utilisation de bio indicateurs. Dans cette étude, c'est l'indice biologique diatomées (IBD) qui est utilisé. La comparaison des peuplements de diatomées en amont et aval du rejet ne permet pas d'évaluer l'impact à proprement parler de la ZRV par rapport à une situation sans ZRV, mais les résultats montrent sur 2 sites sur 3 que l'indice IBD se dégrade en aval du rejet. Cela indique que **le ZRV ne permet pas de compenser totalement l'impact du rejet de la STEU sur la biologie du milieu**.

Il est important de considérer que sur l'ensemble des trois sites concernés par ce suivi milieu, les débits des cours d'eau à l'étiage sont très faibles si bien que la capacité de dilution du milieu est très limitée.

D'une manière générale, lorsque la ZRV permet des rendements sur flux complémentaires, l'impact sur le milieu est diminué sans pour autant atteindre la classe de bon état requise par la directive cadre sur l'eau. Cela se vérifie d'autant plus sur des cours d'eau à faible débit d'étiage, déjà soumis à d'autres pressions (diffuses agricoles ou hydromorphologiques) et dont l'état est déjà dégradé en amont du rejet de la ZRV. L'étude montre également que la ZRV peut ponctuellement dégrader certains paramètres ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$ ).

## 6.6.2 Eaux souterraines

A l'origine les piézomètres devaient permettre de suivre l'impact des eaux infiltrées sur la qualité des eaux de nappe.

Les lysimètres devaient permettre d'étudier l'évolution des concentrations des eaux usées infiltrées dans le sol pour essayer d'évaluer le pouvoir épurateur du sol sur les macropolluants.

L'interprétation des résultats des lysimètres et piézomètres s'est finalement révélée très complexe, puisque dans un milieu ouvert et étendu tel que la nappe, il est difficile d'évaluer la part de l'impact liée à la ZRV parmi toutes les influences extérieures (cf. §5.6.2).

Aucune pollution évidente des eaux de nappe n'a été révélée par les analyses des échantillons recueillis dans les piézomètres en aval des ZRV.

Les résultats des suivis des eaux souterraines ne permettent pas de conclure sur une influence positive ou négative des ZRV sur leur qualité.

Afin d'appréhender au mieux l'impact potentiel de la ZRV sur la nappe, il est nécessaire de disposer d'une étude hydrogéologique complète permettant de déterminer avec précision la localisation idéale des piézomètres. Dans la plupart des cas, ces études ne sont pas réalisées.

## 6.7 Faune, flore

Les ZRV présentant des ouvrages diversifiés telles que Caillac et Meyssac offrent une flore variée, et une faune riche particulièrement en insectes.

La biodiversité sur ces sites est accentuée par les différences morphologiques de chaque ouvrage (profondeurs, matériaux rapportés, vitesse d'écoulement, ...), qui favorisent la diversité des cortèges d'espèces.

La planche en ANNEXE A3 présente un échantillon des espèces les plus fréquemment rencontrées.

Parmi les espèces qui se développent sur les zones, on retrouve la même collection de plantes et d'animaux typiques des milieux humides :

Tableau 25 : Espèces rencontrées régulièrement sur les ZRV

	Classe	Nom usuel
Flore	<b>Hélophytes</b>	Iris des marais, joncs, massettes ( <i>typha</i> ), laîches ( <i>carex</i> ), roseaux, salicaires, scirpes, eupatoires, mouron d'eau ( <i>veronica</i> ), souchets, scrofulaires, ...
	<b>Prairies humides</b>	Menthe, renoncule, plantain, épilobe, oseille, liseron, ...
	<b>Arbres, arbustes</b>	Saule, aulne, peuplier, ... (Souvent implantés par l'homme)
	<b>Aquatiques flottantes</b>	Lentilles d'eau, azollas
Faune	<b>Insectes / Arachnides</b>	Libellules, agrions, papillons, abeilles, frelons, moustiques, sauterelles, coléoptères, araignées ...
	<b>Mammifères</b>	Ragondins, taupes, renards, ...
	<b>Oiseaux</b>	Canards, poules d'eau, perdrix, rouges-gorges, ...
	<b>Gastéropodes</b>	Limnées, limaces ...
	<b>Amphibien / reptiles</b>	Grenouilles, crapauds, serpents, ...

C'est dans cette liste que viennent piocher les concepteurs de ZRV au moment de végétaliser les zones.

**Cette diversité crée différents habitats écologiques que l'on retrouve sur toutes les zones :**

- La végétation haute et dense (massette, roseaux, iris ...) crée des zones de nidification privilégiées pour les oiseaux,
- Les zones plus découvertes où fleurissent les hélophytes mellifères attirent les insectes,
- L'ombre apportée par la végétation de berges (saules, joncs...) favorise les populations d'amphibiens.

Sur des sites moins complexes, la morphologie linéaire et la mono-plantation d'une espèce (bambous, roseaux) ne favorisent pas particulièrement la biodiversité du site, même si ces espèces constituent un bon abri pour les oiseaux.



**Figure 28 : Exemple de dynamique faune / flore**

Les résultats des études menées par le Conservatoire Régional d'Espaces Naturels (CREN) de Midi-Pyrénées sur plusieurs ZRV du Tarn [16] montrent que **ces zones peuvent abriter quelques espèces du cortège des zones humides, voire ponctuellement des espèces déterminantes pour le classement des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF)**.

Dans son rapport de 2015, le CREN précise :

*[à propos des coléoptères] Étant donné les milieux à proximité (culture, friche, ...), il est étonnant de voir une telle diversité d'espèces, vu leur faible pouvoir de dispersion. Cela montre bien que ces zones participent au réseau fragmenté des zones humides.*

*CREN - Suivis naturalistes des zones de dispersion de 3 STEU dans le Tarn – 2015 [16]*

Mais cette étude générale menée sur plusieurs années (2009 à 2015) montre surtout une tendance des ZRV à la « fermeture », c'est-à-dire à une colonisation rapide de toutes les zones en eau par la végétation, avec une perte de diversité. Sur les 3 sites suivis dans le Tarn, la communauté à massettes (typha) a pris systématiquement le dessus sur les autres espèces végétales, entraînant parallèlement la baisse de la diversité animale.

Sur le site de Montans, le CREN a mis en évidence que les travaux de réouverture du premier bassin, qui était progressivement étouffé par la végétation, avaient été très bénéfiques pour la diversité de la faune et de la flore de la ZRV.

**Ceci confirme qu'une alternance de zone ouverte et végétalisée est bénéfique à la biodiversité.**

La biodiversité des espèces subaquatiques (animales ou végétales) n'a pas été étudiée précisément lors de cette étude, mais les algues, les organismes et micro-organismes aquatiques qui peuplent le fond des ouvrages en eaux jouent sans aucun doute un rôle dans les processus en jeu.

## 6.8 Entretien, exploitation

### 6.8.1 Dysfonctionnements, problèmes récurrents

Au cours des 3 ans de suivi, des problèmes récurrents parfois communs aux différents sites ont été mis en évidence. Ces dysfonctionnements sont pour la plupart liés à la conception de la ZRV et aux contraintes locales.

L'analyse de ces problèmes permettra dans un second temps d'établir des recommandations pour la conception et la gestion des ZRV en général.

#### a. Répartition des débits en entrée ZRV

Sur les différents sites disposant d'un système de répartition des débits en entrée de ZRV (3 sites sur 5), aucun ne fonctionnait correctement.

La répartition équitable des débits entre différents ouvrages est toujours un point sensible en hydraulique, ce qui est d'autant plus vrai sur les ZRV qui restent des installations rustiques.

Sur les trois sites concernés, un manque de précision dans la conception et/ou des contraintes liées à l'hydraulique des zones (mise en charge...) sont à l'origine des difficultés rencontrées.

Si ces difficultés ne remettent pas en cause le fonctionnement des ZRV, elles peuvent conduire l'exploitant à revoir le mode d'exploitation (pas d'alimentation en alternance possible, interventions plus fréquentes...) ou à devoir adapter le système (« bricolage »).

Dans tous les cas, si le fonctionnement de la ZRV a été pensé avec une distribution des débits sur plusieurs ouvrages, un dysfonctionnement du système de répartition risque de dégrader le fonctionnement général de la zone.

#### b. Lentilles d'eau et azollas

Sur une large majorité des zones suivies ou visitées dans le cadre de l'étude, la présence des lentilles d'eau (et dans une moindre mesure des azollas) s'est avérée récurrente.



Figure 29 : Flore flottante rencontrée sur les ZRV

Ce développement est quasi-systématique lorsque la ZRV se compose d'ouvrages creusés tels que des noues ou des bassins. L'absence de courant et les grandes étendues d'eaux stagnantes sont à l'origine de ce phénomène.

Si dans une moindre mesure ces végétaux fixe l'azote et limite le développement de moustiques en étouffant les larves, cette végétation flottante forme surtout un tapis dense qui empêche la lumière de traverser la surface de l'eau et provoque une diminution de la photosynthèse dans la colonne d'eau et des échanges eau / air. Elles peuvent être responsables de l'anoxie des eaux en sortie de ZRV.

Au fur et à mesure, les lentilles d'eau (ou les azollas) peuvent s'accumuler et s'agglomérer en plaques solides de plusieurs centimètres d'épaisseur. Au-delà de leur impact potentiel sur la qualité du rejet du fait de leur décomposition, ces plaques vont obstruer les sorties des ouvrages et provoquer des désordres hydrauliques.

Dans le cadre des ZRV, leur gestion peut demander une intervention très régulière qui augmente considérablement le prix d'entretien. L'extraction des lentilles d'eau ou des azollas de la surface d'un ouvrage est une opération curative chronophage, coûteuse, et n'est généralement efficace qu'à court terme. Elle ne doit intervenir que de manière exceptionnelle, si la situation est jugée critique :

- Épaisse couche de lentilles d'eau de plusieurs centimètres, avec début de putréfaction.
- Signe d'anoxie persistante de l'eau.



Figure 30 : Résultat d'une accumulation importante de lentilles d'eau en sortie d'un ouvrage

### c. Obstruction des liaisons hydrauliques

Lorsque la ZRV est composée de plusieurs ouvrages reliés entre eux par des liaisons hydrauliques (canalisations, batardeaux ...), ou lorsque le rejet se fait via une canalisation, un risque non négligeable d'obstruction existe.

Sur les ZRV suivies, ce phénomène a été observé de nombreuses fois. Il s'agit principalement de bouchages liés à la végétation :

- Obstruction par une accumulation de débris végétaux (tiges de massettes, agglomérat de lentilles, feuilles...). Ce phénomène naturel peut être amplifié par la faune, notamment les ragondins qui découpent la végétation pour nidifier.
- Obstruction par les racines, qui peuvent également porter atteinte à l'intégrité des ouvrages (exemple d'une casse de canalisation par les racines d'un saule planté trop près de l'ouvrage).



Figure 31 : Désordres hydrauliques sur les ouvrages de liaison liés à la végétation

Ces obstructions provoquent une mise en charge des ouvrages avec soit le risque d'un débordement, soit le risque d'un débouchage rapide et d'un phénomène de vidange par chasse de la ZRV, pouvant entraîner un départ de matières (MES, boues, lentilles...) dans le milieu récepteur.

#### d. Colmatage progressif

Le suivi sur 3 ans de plusieurs ZRV d'âges différents a permis d'appréhender le phénomène de colmatage qui semble commun à tous les ouvrages.

Il est lié à la fois au type de filière amont (réception d'eaux chargées), le raccordement de trop-plein ou by-pass sur la zone (réception d'eaux chargées), le développement de la végétation dans les ouvrages (formation d'humus) et surtout l'entretien de la zone (curage, nettoyage annuel).

Le colmatage des ZRV par un dépôt de boues minérales et organiques est progressif dans le temps. De plus, si aucune mise à sec de la ZRV ou aucun curage ne sont réalisés, la ZRV risque de progressivement se combler.

Les risques principaux sont la mise en charge et le débordement des ouvrages, ou en cas de pointe hydraulique (par exemple si la ZRV est en aval d'un réseau unitaire), **le lessivage de la zone et de ses dépôts**.

Un **relargage de la pollution** sédimentée ou adsorbée [def.] dans les sols est également possible en fonction de l'évolution des paramètres physico-chimiques du milieu.

Dans tous les cas les dépôts stockés dans la ZRV ne sont pas inertes et restent en constante interaction avec le compartiment eau. Les recueils de données à l'échelle du bassin Adour-Garonne et des études réalisées dans d'autres territoires montrent que la mise à sec des ouvrages permet au moins en partie de minéraliser ces boues et de ralentir le colmatage des ouvrages.

#### e. Contraintes liées à la végétation

La végétation étant le plus souvent non régulée sur les ZRV, son développement excessif ou anarchique peut gêner son fonctionnement.

Parmi les problèmes les plus fréquents :

- Développement d'îlots denses de végétation qui freinent voire bloquent le flux hydraulique dans la ZRV, avec un risque de débordement.
- Obstruction des canalisations (racine, débris).
- Contraintes d'accès aux ouvrages

Sur les sites étudiés comportant des arbres ou arbuste plantés sur les berges des ouvrages (principalement saules), force est de constater que leur ancrage est insuffisant lorsqu'ils deviennent trop grands : plantés trop près du bord des ouvrages, ils s'effondrent sous leur propre poids dans la zone, en créant un embâcle.

Le développement important de la végétation contraint à un entretien suivi du site.

Au moment de la sénescence [def.] des végétaux, ceux-ci s'accumulent au fond des ouvrages. **L'humus qui se forme et se décompose va alors relarguer les nutriments et polluants prélevés par les plantes.** La décomposition va également créer des conditions d'anoxie et la formation de gaz à effet de serre de type méthane.

Sur les sites suivis, exceptées les lentilles d'eau et quelques azollas, aucune autre espèce végétale invasive ou indésirable (jussie, renouée, ambroisie) n'a été recensée. Ce risque n'est toutefois pas nul.

#### f. Contraintes liées à la faune

Si le développement de la biodiversité est plutôt un point favorable au ZRV, cela peut aussi entraîner quelques contraintes.

Il ne faut pas oublier que les animaux sont en premiers lieux une source de pollution bactérienne, et que la présence de leurs déjections n'est pas souhaitable si le rejet se trouve en amont d'une zone à usage sensible (baignade, eaux potable...).

L'activité de la faune est aussi une des principales causes de la remise en suspension des MES (et des pollutions liées) dans l'eau. Les oiseaux, les amphibiens ou les ragondins ont par exemple une activité qui crée des remous dans les ouvrages.

A contrario, cette agitation peut être un bon moyen de réoxygénation de l'eau et de limiter brièvement le développement des lentilles d'eau.

**Ces zones peuvent favoriser la prolifération d'espèces indésirables**, comme les taupes qui fragilisent les berges et plus problématique, les ragondins, classés comme espèce nuisible en France.

Au niveau des berges, la présence de galeries de ragondins ou de petits mammifères peut être très problématique : ces cavités remettent en cause la structure des berges et peuvent être à l'origine d'effondrement voir de percées vers l'extérieur responsables de fuites des bassins. Ces animaux peuvent causer diverses dégradations que ce soit des clôtures, des ouvrages ou de la végétation

La prolifération des amphibiens sur les zones peut également créer des nuisances imprévisibles : sur un des sites suivis, le voisinage s'est plaint des nuisances sonores des grenouilles, particulièrement aux printemps durant la période de reproduction.

Enfin, ces étendues d'eau stagnantes sont un milieu favorable au développement des moustiques, qui peuvent représenter un risque sanitaire. Mais une conception soignée et une biodiversité équilibrée limitent ce risque.

**D'une manière générale, la faune peut être à l'origine de diverses dégradations et petits désagréments, qui restent toutefois gérables. Une faune diversifiée reste le signe d'une ZRV en bonne santé.**

## 6.8.2 Entretien et exploitation

Sur la plupart des zones étudiées, l'entretien se résume généralement à deux types d'interventions :

1. Entretien courant des espaces verts (tonte, débroussaillage, désherbage) de l'installation de traitement dans son ensemble (ZRV+STEU),
2. Entretien curatif suite à un dysfonctionnement généralement hydraulique sur la zone.

Sur les petits sites étudiés, l'entretien relève essentiellement du point 1.

Sur les sites occupant plusieurs centaines de mètres carrés, les interventions sont plus régulières. Sur les stations supérieures à 1000 EH, un passage journalier sur le ZRV est effectué afin de s'assurer du bon fonctionnement hydraulique.

Au niveau de l'entretien courant des espaces verts, plusieurs contraintes ont été mises en avant :

- Surfaces importantes nécessitant une mobilisation sous-estimée des agents municipaux,
- Entretien négligé faute de temps,
- Difficulté d'accès aux ouvrages malgré l'aménagement du site (inondation, éboulement, terrain boueux...),
- Désherbage chimique des clôtures contraire aux principes écologiques de la ZRV.

Voici les opérations curatives recensées en trois ans de suivi :

- Débouchage régulier des liaisons hydrauliques,
- Reprise des berges pour éviter un débordement,
- Débroussaillage des ouvrages,
- Chasse aux ragondins,
- Intervention sur la végétation plantée suite à des problèmes de développement : taille curative, replantation, aménagement, ...
- Fauchage et évacuation de la végétation,
- Ratissage des lentilles d'eau au niveau des exutoires,
- Curage partiel ou total,
- Réaménagement, travaux, sur les différents organes de la zone (canal de mesure, canalisation, accès, ...).

Ces différents constats montrent l'importance d'anticiper l'exploitation de la zone et d'effectuer un entretien préventif, pour optimiser le fonctionnement de la ZRV.

Parmi les sites suivis, une ZRV fait l'objet d'un entretien complet annuel qui comprend :

- Tonte, débroussaillage, désherbage thermique mensuel
- Ramassage des feuilles, taille des haies à l'automne
- Entretien annuel complet de la ZRV au printemps, après mise à sec des ouvrages : Tailles des arbustes, fau cardage de la végétation dans les noues, curage de l'humus et débris d'hélophyte, nettoyage des entrées de canalisations, exportation des déchets...

Cet entretien drastique montre tout son intérêt car il permet de :

- Contenir le développement des saules
- Garantir le bon fonctionnement hydraulique (évacuation débris, taille racines...)
- Contrôler le développement de la végétation,
- Contrôler l'état des ouvrages et les accès aux regards,
- Exporter du système les flux polluants stockés par les plantes

Cet entretien pour une zone d'environ un demi-hectare est sous-traité à une société locale. Son coût est non négligeable puisqu'il s'élève à environ 4 300 €HT par an pour 16 jours d'intervention. A noter que ce coût est peu représentatif du marché car il s'agit d'une prestation effectuée par un établissement d'insertion par le travail de personnes en situation de handicap.

Sur les petites zones curées en 2014 (Montans, St Romain), le coût de curage de 40 à 50 m<sup>3</sup> de boues est estimé à environ 1 500 €HT pour une journée de travaux.

La question de l'évacuation des boues s'est posée sur ces deux sites, car la réglementation actuelle ne précise pas explicitement les critères à respecter pour la destination finale des déchets issus des ZRV. Finalement, un stockage sur place suivi d'une dispersion du résiduel sec a été effectué.

## 7 Autres retours de données

Un recueil de données complémentaires a été réalisé sur l'ensemble du bassin Adour-Garonne auprès de différents SATESE.

*NOTA : Lors de ce recensement, il n'a pas été possible de distinguer les ZRV des dispositifs d'infiltration. Dans le paragraphe suivant, le terme ZRV sera donc exceptionnellement employé pour les ouvrages présentant un rejet dans l'année ou les dispositifs permettant l'infiltration totale du rejet.*

Des informations concernant les caractéristiques de la ZRV (type, surface, végétation), le milieu récepteur, le coût global, l'entretien et les paramètres physico-chimiques analysés ont été demandées aux différentes communes dont la station de traitement dispose d'une ZRV. Parmi les 270 communes concernées dans le bassin Adour-Garonne, moins d'une centaine de stations ont fourni un retour permettant d'exploiter des données concernant les différents points mentionnés ci-dessus. Les conclusions tirées de l'analyse de ces données supplémentaires concernent :

- L'entretien
- Le coût d'installation
- Les performances globales de la ZRV

### 7.1 Entretien des ZRV

Une ZRV est par définition une zone de rejet rustique, dont l'entretien et l'exploitation doivent être simples. Il a cependant été constaté qu'un entretien régulier est nécessaire au bon fonctionnement de la ZRV.

56 communes ont communiqué des données concernant cet entretien. Les informations recueillies ne sont exploitables que pour 31 ZRV.

Sur 31 stations, **22 exploitants n'effectuent aucun entretien de la ZRV**. Seulement 30% des communes mobilisent donc des agents municipaux ou des sociétés privées pour effectuer l'entretien de la ZRV de leur station d'épuration. Le tableau suivant résume la difficulté à recueillir des données représentatives sur le thème de l'entretien.

Tableau 26 : Recueil de données complémentaires concernant l'entretien

Nombre de communes dans le bassin Adour-Garonne	Nombre d'informations concernant l'entretien des ZRV	Nombre de données exploitables	Nombre de ZRV dont l'entretien est chiffré
270	56	31	9

Le tableau suivant présente le volume horaire annuel consacré à l'entretien d'une ZRV, établi à partir des données concernant les 9 ZRV dont les données sont chiffrées.

Tableau 27 : Volume horaire d'entretien par EH

Volume horaire annuel moyen d'entretien		
Moyen par équivalents habitant (EH)	Min	Max
≈ 9 min/EH/an	24 h/an	202 h/an (≈25 j de travail pour 1 personne)

Le temps d'entretien des ZRV est généralement consacré à différents travaux réguliers :

- Tonte du terrain : de 1 fois/mois à 1-2 fois/an
- Débroussaillage : de 1 à 3 fois/an
- Taille des arbres : de 1 fois/an à 1 fois/3 ans
- Fauchage : 1 à 2 fois/an
- Vérification de l'état général de la ZRV : de 1 fois/semaine à 1 fois/an

De manière plus occasionnelle, l'entretien consiste également au curage des boues, à l'extraction des lentilles d'eau, au nettoyage complet à sec et au reprofilage des ouvrages.

À titre indicatif, le tableau suivant présente l'occurrence des interventions d'entretien observée. La durée présentée est donnée pour des sites dont la surface moyenne est de 450 m<sup>2</sup> mais dépend également d'autres paramètres intrinsèques au site entretenu. Ce tableau est comparable aux informations données en partie 6.8.2 concernant les 5 sites suivis lors de l'étude.

Tableau 28 : Interventions d'entretien effectuées sur les ZRV

ENTRETIEN COURANT	Fréquence d'intervention	Durée indicative	Recommandation / remarque
Gestion de l'alimentation	1 fois /semaine	≤ 30 min	A adapter selon le site
Tonte, débroussaillage	3 fois / an	≈ ½ j	Tonte de la ZRV en même temps que la STEU. A effectuer surtout au printemps-été.
Désherbage	1 fois par an	≤ ½ j	Privilégier le désherbage manuel
Vérification de l'état général de la ZRV et de l'écoulement	1 fois /semaine à 1 fois /mois	≤ 1 h	-
Lutte contre les espèces invasives (ragondins, écrevisses, ...)	Au besoin	≤ 1 h	Pose de piège à ragondins, ...
ENTRETIEN PONCTUEL	Fréquence d'intervention	Durée	Recommandation / remarque
Faucardage de la végétation dans la ZRV	1 fois / an	≈ 1 j	Déchets à exporter
Nettoyage complet de la ZRV (évacuation des macrodéchets et flottants ...)	1 fois / an	≈ 1 j	Simultanément au fauquardage
Extraction des lentilles d'eau ou azolla	Au besoin		-
Taille des arbres et arbustes	1 fois / an	1 à 2 j	A adapter au besoin
Curage des boues	Au besoin (≈ 1 fois / an)	≤ 1 j	Au besoin, selon les contraintes du site
Reprofilage des ouvrages	Au besoin	≤ 1 j	-

Le temps nécessaire à l'entretien semble dépendre alors de plusieurs paramètres :

- Type de ZRV
- Surface en eau
- Surface totale

La surface moyenne en eau pour les ZRV bénéficiant d'un entretien est de **0,86 m<sup>2</sup>/EH**, à comparer à la surface moyenne en eau des 56 ZRV de l'échantillon, estimée à 2,2 m<sup>2</sup>/EH.

En effet, les 9 ZRV entretenues de l'échantillon sont majoritairement des fossés, ayant par conséquent une petite surface en eau (contrairement à des bassins d'infiltration). Le volume horaire moyen par m<sup>2</sup> de surface d'eau constituant la ZRV est estimé à environ **15 min/m<sup>2</sup>/an**.

Le temps nécessaire à l'entretien de la ZRV semble également dépendre du type de ZRV exploitée. Le tableau suivant permet de mettre en évidence cette relation sur les quelques ZRV où un entretien est effectué :

Tableau 29 : Volume horaire d'entretien par m<sup>2</sup>

Type de ZRV	Volume horaire annuel moyen par unité de surface en eau
Fossé-noue	21 min/m <sup>2</sup> /an
Bassin	7 min/m <sup>2</sup> /an

Les fossés et les noues sont des systèmes ayant une surface en eau généralement inférieure à celle nécessaire pour un bassin d'infiltration. Sur les 9 communes effectuant un entretien de la ZRV, cinq ont une installation de type fossés-noues et quatre ont un bassin. Sur un fossé, l'entretien concerne plus particulièrement le débroussaillage au niveau des berges ainsi que la tonte, le volume horaire est donc relativement élevé par rapport à la surface en eau.

## 7.1 Coût d'installation d'une ZRV

La ZRV est la plupart du temps créée lors de la construction de la station. Elle peut également être aménagée à l'occasion de travaux sur la station d'épuration à laquelle elle est associée.

Sur la totalité des communes ayant communiqué des données seules 12 ont transmis des informations concernant le prix de la ZRV. En effet, ce prix est souvent intégré au coût global de la station de traitement et ne peut être distingué. En moyenne, le coût de la ZRV représente de **3 à 15%** du coût global de la station d'épuration. Parfois ce ratio peut monter jusqu'à 25%, c'est le cas d'un ZRV du bassin Adour-Garonne qui a coûté environ 200 000 €.

La conception de la station et de la ZRV se fait généralement en fonction de l'espace foncier disponible, et en théorie proportionnellement au nombre d'équivalent habitant. Le coût de la ZRV peut varier de **10 à 175 €/EH**, la valeur moyenne étant d'environ **60 €/EH** pour des ZRV classiques.

Le coût de l'aménagement d'une ZRV en sortie de station est également relié à la surface en eau de l'installation. En moyenne, construire une ZRV a un coût de **50 €/m<sup>2</sup> d'eau**. Cependant, le budget nécessaire à l'aménagement d'une ZRV dépend du type d'installation :

- Pour des ZRV de type bassin : moyenne de 20 €/m<sup>2</sup> d'eau
- Pour des ZRV de type fossés-noues : moyenne de 58 €/m<sup>2</sup> d'eau.

## 7.2 Performances globales des ZRV

Dans la logique de la présente étude, l'agence de l'eau Adour Garonne a mandaté plusieurs SATESE pour effectuer des bilans d'autosurveillance sur une dizaine de ZRV, complétés par un recueil de données historiques. Les paramètres physico-chimiques mesurés en entrée et en sortie de ZRV permettent alors d'évaluer les performances complémentaires des sites concernés.

Des données relatives aux bilans réalisés sur 13 communes du bassin Adour-Garonne ont été recueillies. Deux de ces communes ont été écartées de l'analyse car la présence potentielle d'une source d'eau claire dans la ZRV pouvait impacter les résultats.

Les données des 11 autres communes ont permis de dresser le graphique suivant, qui présente pour les concentrations la distribution des performances par gamme de rendement (en pourcentage du nombre de mesure recueillis). Le débit n'étant pas systématiquement donné, seuls les rendements sur concentrations sont étudiés.

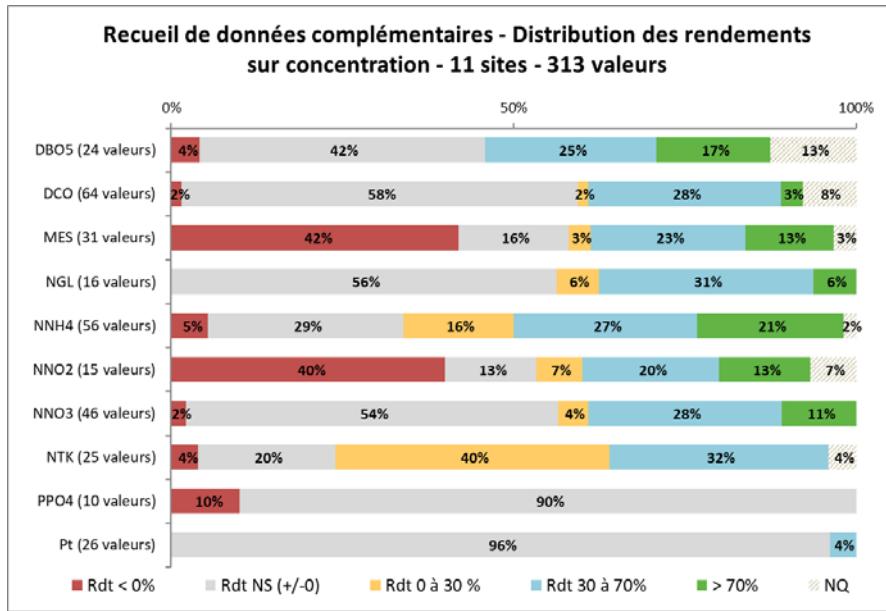


Figure 32 : Analyse des rendements sur le recueil de données complémentaires

- Les bilans menant à un rendement non quantifiable (NQ) ne permettent pas de conclure sur un éventuel abattement de la pollution.
- Les bilans menant à un rendement non significatif (NS) sont interprétés comme une absence d'influence de la ZRV sur les concentrations mesurées (peu ou pas d'impact).
- Parmi les bilans dont le rendement sur concentration est significatif on distingue quatre types de rendement :
  - Rendement négatif, traduisant un impact négatif sur la qualité de l'eau rejetée,
  - Rendement positif <30%, traduisant un impact positif léger sur l'eau de sortie de station,
  - Rendement positif de 30% à <70%, témoignant d'un impact positif via un abattement moyen de la pollution concernée,
  - Rendement positif >70%, concernant les bilans où la capacité épuratoire de la ZRV pour le paramètre est relativement importante.

### 7.2.1 Azote

Dans le cadre l'étude, les rendements sur l'azote global (qui regroupe les différentes formes d'azote retrouvées dans le milieu) étaient significativement positifs dans plus de 65% des cas avec seulement 33% de rendements non significatifs. L'exploitation des données complémentaires montrent une tendance différente avec des rendements non significatifs dans plus de 56% des cas lorsque le paramètre est mesuré. Toutefois dans 43% des cas, les rendements sont significativement positifs et dans 37% des cas les rendements sont >30%.

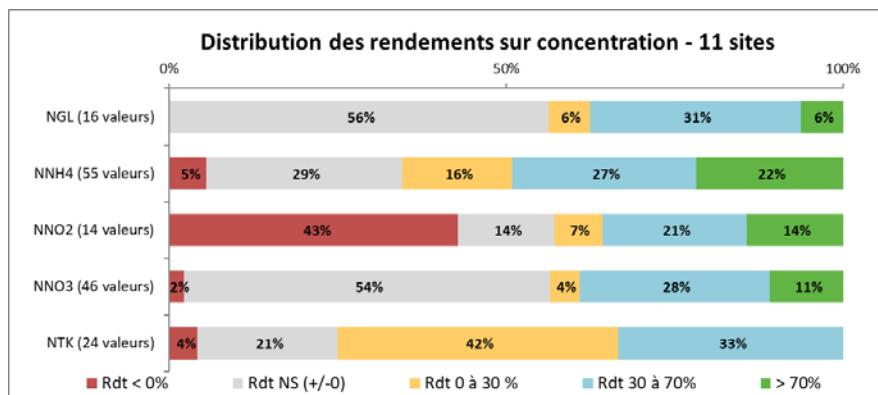


Figure 33 : Analyse des rendements sur l'azote - recueil de données complémentaires

Ce constat mitigé est le même pour le paramètre nitrates (54% des cas où la ZRV a peu ou pas d'impact, 43% des cas où la ZRV a un impact significativement positif).

L'abattement complémentaire sur l'azote ammoniacal est plutôt intéressant, avec **un abattement positif et significatif du NNH4 mesuré dans 65% des cas** (75% dans le cadre de l'étude des 5 sites).

L'impact positif de la ZRV est moins marqué sur le paramètre NTK (rendement sur concentration majoritairement inférieur à 30%).

L'effet de la ZRV vis-à-vis des nitrites est relativement faible : la moitié des bilans significatifs montrent un rendement sur concentration négatif pour ce paramètre : **la qualité de l'eau vis-à-vis des nitrites (NNO<sub>2</sub>) est dégradée par la ZRV dans 43 % des cas**. Cela peut s'expliquer par le fait que le processus de dénitrification se fasse de manière incomplète dans la ZRV. Ce phénomène a également été observé sur les 5 sites suivis.

Le résultat du recueil de données n'est pas contradictoire avec les résultats des campagnes de mesures réalisées dans le cadre de l'étude.

La ZRV a une influence sur l'azote qui reste relativement positive (notamment sur NTK et NNH4) mais qu'il faut nuancer selon la qualité initiale de l'eau en sortie de STEU et la forme sous laquelle se trouve l'azote. Dans tous les cas, un risque important de dégradation de la concentration en NNO<sub>2</sub> est à attendre.

## 7.2.2 DCO - DBO

Comme lors des campagnes de mesure, les données extérieures montrent que dans la majorité des cas, la ZRV a peu d'impact sur les paramètres organiques : 48% des rendements sur la DBO5 et 63% des rendements sur la DCO sont considérés comme non significatifs (+/- égale à 0) parmi les bilans étudiés.

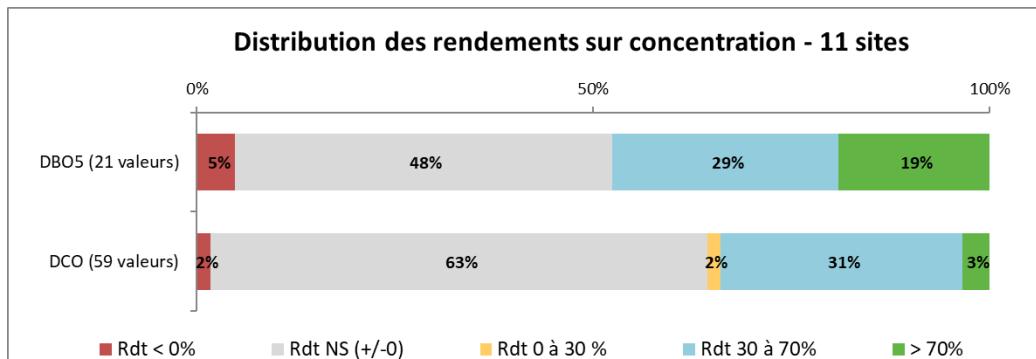


Figure 34 : Analyse des rendements sur DCO-DBO - recueil de données complémentaires

Lorsque la concentration en sortie de STEU est significative (> 100 mg/l de DCO et > 10 mg/l de DBO<sub>5</sub>), l'impact de la ZRV sur les paramètres DCO et DBO<sub>5</sub> peut être important. A contrario, pour des concentrations très faibles en sortie de STEU, l'impact de la ZRV peut être négligeable voire négatif.

### 7.2.3 MES

Les résultats concernant les MES ne permettent pas de dégager de tendance globale. En effet, 17% des rendements sont non significatifs, 43% sont négatifs et 39% sont positifs. Cette différence de résultat est illustrée sur la figure ci-dessous.

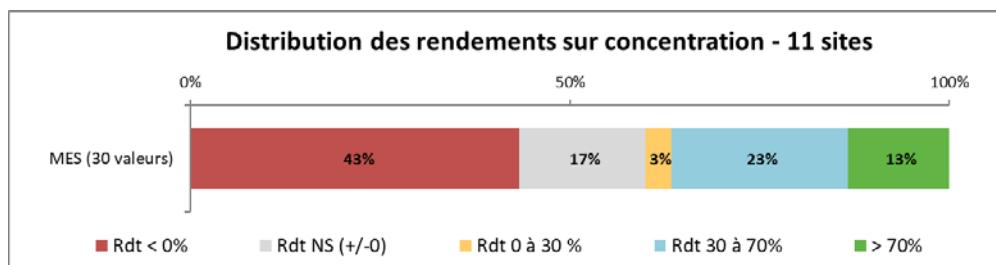


Figure 35 : Analyse des rendements sur MES - recueil de données complémentaires

En effet, le résultat des analyses sur le paramètre MES dépend entièrement de la manière dont le prélèvement a été réalisé : il est fort probable que les MES aient été remises en suspension lors du prélèvement, ce qui fausse une partie du résultat. Ces données difficiles à interpréter au regard du manque d'informations concernant la réalisation des prélèvements sont similaires à celles issus des campagnes des mesures réalisées dans le cadre de l'étude.

### 7.2.4 Abattement du phosphore

Les données relatives au phosphore sont peu nombreuses parmi les bilans. Le rendement sur le phosphore total est non significatif pour 96% des bilans et pour 90% des bilans sur les orthophosphates. Ce rapport est présenté sur la figure ci-dessous.

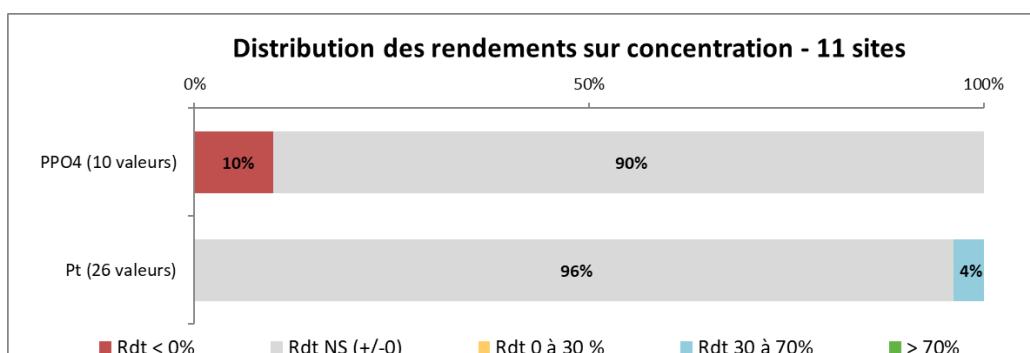


Figure 36 : Analyse des rendements sur le phosphore - recueil de données complémentaires

Ces résultats sont conformes aux observations faites dans le cadre de l'étude : sur ce paramètre, la ZRV apporte peu ou pas de complément sur l'abattement des concentrations. Un risque de dégradation de la qualité de l'eau est même mesuré dans 10% des cas pour les orthophosphates.

## 7.3 Micropolluants – revue de la littérature scientifique

### 7.3.1 Projets AMPERES et ARMISTIQ

Les projets AMPERES et ARMISTIQ, menés par IRSTEA, en partenariat notamment avec Suez Environnement, le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), et le Laboratoire de Physico- et Toxicoc-Chimie de l'environnement (LPTC) de l'université de Bordeaux, ont permis de faire le point sur les rendements des stations de traitement des eaux usées sur les micropolluants [\[def.\]](#).

Le tableau suivant compare les gammes de rendements observés sur les ZRV des 5 sites étudiés avec les résultats des projets AMPERES et ARMISTIQ [\[14\]](#)[\[15\]](#).

Figure 37 : Résultats obtenus sur les micropolluants. Comparaison avec les résultats des études AMPERES-ARMISTIQ

Substance analysée	Rendement ZRV <sup>5</sup>	Rendement STEU (AMPERES-ARMISTIQ)
Cu	30%<Rdt<70%	> 70 %
Pb	30%<Rdt<70%	>70 %
Zn	30%<Rdt<70%	30%<Rdt<70%
Cd	30%<Rdt<70%	30%<Rdt<70%
Hg	Non quantifié	>70 %
Cr	NS (+/-0)	>70 %
Ni	<30 %	30%<Rdt<70%
As	NS (+/-0)	<30 %
Ibuprofène	>70 %	>70 %
Glyphosate	NS (+/-0)	<30 %
AMPA	NS (+/-0)	<30 %
Diclofénac	NS (+/-0)	<30 %
Carbamazépine	NS (+/-0)	<30 %

Les résultats sont similaires si l'on regarde les molécules présentant un abattement. On note que les valeurs de rendement sont plus faibles d'une classe de rendement sur les ZRV étudiées que sur les STEU faisant l'objet des deux projets de recherche. Toutefois, les tendances sont comparables et **la ZRV semble s'inscrire dans la continuité des abattements réalisés sur la station.**

Seuls les rendements sur le mercure et le chrome ne présentent pas la même tendance : ceci est lié aux limites de quantification souvent atteintes sur ces paramètres en entrée de ZRV.

### 7.3.2 Les micropolluants dans la ZRV

Le devenir des micropolluants <sup>[def.]</sup> dans les ZRV à fait l'objet d'une thèse « Devenir des résidus médicamenteux et de leurs métabolites au sein des Zones de Rejet Végétalisées » dont les résultats sont en cours de publication [26][27].

Les campagnes de mesure menées sur 2 systèmes de traitement (STEU + ZRV) dans le nord-est de la France montrent pour plusieurs molécules un abattement complémentaire apporté par la ZRV.

Les conclusions de cette étude sont les suivantes :

*Concernant les résidus médicamenteux, un nombre important de rendements d'épuration compris entre 30 et 70 % ont été observés au sein des ZRV, avec des maximums en été et des minimums en hiver. On peut également noter la présence importante de rendements d'épuration nuls et de quelques phénomènes de relargage. En revanche, au regard des abattements observés sur les FPR en amont, la contribution des ZRV à l'épuration globale du site était inférieure à 30 % du flux de micropolluants.*

M.NUEL - Résumé de Thèse [27]

Les résultats des suivis effectués durant cette thèse montrent notamment que :

- Boues et plantes accumulent et stockent les résidus médicamenteux, mais à de très faibles concentrations (nano ou pico g/g) au regard des flux journaliers.
- Les plantes échantillonnées ont montré une capacité d'absorption des médicaments propre à chaque espèce étudiée.
- Les boues ont tendance à interagir de manière dynamique avec les micropolluants : adsorption <sup>[def.]</sup> en été et relargage en hiver.

Ces résultats confortent les mesures faites dans le cadre du suivi des ZRV en AEAG : pour certaines substances, la ZRV peut apporter un abattement sur les flux de micropolluants rejetés, dû en partie au stockage dans la ZRV. Ces rendements restent toutefois faibles et variables, et difficilement maîtrisables. D'autre part, les métabolites de ces substances n'ont pas été étudiées dans cette étude.

<sup>5</sup> Rendement sur concentration lorsque la molécule est quantifiée en entrée de ZRV

# 8 Conclusion sur les performances et les mécanismes identifiés

Les conclusions de l'étude réalisée sur 5 ZRV du bassin Adour-Garonne complétées par un recueil de données complémentaires sont résumées ci-après.

Les performances constatées sur les sites suivis rejoignent les résultats d'études récentes (ARPE [4], EPEC [7], ZHART [36], AMPERE ET ARMISTIQ [14],...).

**Si des aspects bénéfiques ont pu être identifiés et quantifiés, ils sont moins nombreux que ceux parfois mis en avant par les constructeurs ou exigés par les maîtres d'œuvre.**

L'étude réalisée sur 3 ans a surtout permis de mettre en avant les limites de telles zones et les contraintes d'exploitation parfois fortes qu'elles peuvent engendrer.

Les paragraphes suivants résument ces différents aspects.

## 8.1 Aspects positifs constatés

### 8.1.1 Régulation des débits (lissage hydraulique)

LE LISSAGE DES PICS DE DÉBITS A ÉTÉ QUANTIFIÉ ENTRE 40 À 55% EN MOYENNE, ET A PU MÊME ATTEINDRE PONCTUELLEMENT 80% DE RÉDUCTION.

- Le lissage des débits est un effet mécanique constaté sur toutes les ZRV suivies.
- Les lissages de pointes de débit (ratio débit de pointe de sortie sur débit de pointe entrée) les plus importants ont été enregistrés sur les zones ayant le plus grand linéaire, le parcours le plus sinuex.
- Le temps de séjour théorique semble également jouer un rôle sur l'importance du lissage mais n'est pas un élément déterminant : une ZRV avec un temps de séjour élevé mais un débit réparti sur plusieurs ouvrages rectilignes et de faible linéaire aura peu d'impact sur le lissage des pointes.
- En cas d'à-coup-hydraulique, la ZRV permet de protéger physiquement le milieu d'une érosion des berges ou d'un ravinage. Cet aspect est intéressant dans le cas de réseaux unitaires connaissant de forte variation de débit par temps de pluie.

### 8.1.2 Réduction des volumes

LA RÉDUCTION DES DÉBITS VARIE DE 0 À 100% SUR LES SITES ÉTUDIÉS.  
TOUTEFOIS LA GARANTIE DU « ZÉRO REJET » SOUVENT DEMANDÉE EN PÉRIODE D'ÉTIAGE EST DIFFICILE À ATTEINDRE DURABLEMENT COMPTE TENU DE L'ÉVOLUTION DU SOL.

La réduction des débits en vue de réduire les flux rejetés est l'objectif principal recherché sur les ZRV.

La réduction du volume est liée à trois phénomènes :

- infiltration dans le sol et sous-sol
- évapotranspiration par le végétal
- évaporation de l'eau libre

#### a. L'infiltration

- Le potentiel d'infiltration de la ZRV dépend essentiellement de la nature des sols en place. Des études préliminaires à la conception permettent d'avoir une idée du potentiel d'infiltration du site, mais l'analyse des données montre que ce résultat reste très théorique, dépendant de l'hétérogénéité du sol, des conditions hydriques, de la variabilité temporelle, etc.
- Ce type d'objectif doit être en cohérence avec le contexte local géologique et pédologique, climatique, topographique ...
- Malgré la réalisation d'études de sol préliminaires et de coefficients de sécurité importants, la diminution du volume rejeté n'est pas toujours à la hauteur du prévisionnel. Le potentiel d'infiltration des eaux dans le sol étant variable et saturable, il est difficile de s'engager sur des performances précises
- La mesure fiable d'une perméabilité est difficile à obtenir car variable dans le temps : elle évolue en fonction de la saturation du sol, des réactions physico-chimiques, de la charge polluantes des eaux, de la charge hydraulique journalière...
- Une fois la ZRV mise en eau, des facteurs qualitatifs (notamment sa teneur en MES) et quantitatifs (lame d'eau journalière injectée dans la zone) influencent dans le temps la capacité d'infiltration du sol. Le colmatage des ZRV par un dépôt de boues minérales et organiques est progressif dans le temps.
- Un colmatage physique (MES, colloïdes) ou biologique (création d'un biofilm imperméable) peut conduire progressivement à une diminution de l'infiltration.
- La mise à sec temporaire de la zone semble être la solution pour retrouver la capacité d'infiltration en permettant le ressuyage du sol, la minéralisation des dépôts colmatant et l'oxydation du biofilm bactérien et algal.

#### b. L'évapotranspiration

- Sous nos latitudes, il est admis une évapotranspiration de **10 à 15 mm/j** en période estivale, soit pas plus de 10 à 15 l/m<sup>2</sup> de ZRV.
- Les pertes de volume liées à l'évapotranspiration vont donc être relativement faibles, et très variables dans le temps.
- Toutefois certains végétaux comme les saules ou les bambous sont connus pour avoir un bon pouvoir d'évapotranspiration.

### 8.1.3 Abattement complémentaire de l'azote global (NGL) et NH<sub>4</sub>

**DANS 77% DES BILANS EFFECTUÉS, QUEL QUE SOIT LE SITE, LA ZRV ASSURE UN RENDEMENT COMPLÉMENTAIRE SUR LE FLUX D'AZOTE (NGL) REJETÉ AU MILIEU**

**DANS 74% DES BILANS EFFECTUÉS, QUEL QUE SOIT LE SITE, LA ZRV PERMET DE RÉDUIRE LE FLUX D'AMMONIUM (NH<sub>4</sub>) REJETÉ AU MILIEU.**

- La moyenne des rendements mesurés sur tous les sites atteint **30% d'abattement sur les concentrations en azote global** et plus de 40% sur les flux. Les résultats pour le NTK sont similaires
- Les meilleurs rendements sur le NH<sub>4</sub> sont observés en sortie de petites installations type FPR, avec un rendement moyen (flux et concentration) pouvant atteindre 80% de moyenne sur 1 site.
- Le mécanisme principal d'élimination de l'azote ammoniacal est la nitrification/dénitrification. Ce procédé exige des conditions favorables (alternance de zone aérobie et anaérobie, source de carbone organique) et un temps de séjour dans la zone suffisant.
- Plusieurs résultats de l'étude viennent confirmer l'hypothèse qu'une part importante de l'azote est dénitrifiée dans la couche d'humus et de sédiments qui se forme au fond des ouvrages (écoulement hyporhéique).
- Si on étudie la variation des rendements moyens en fonction des mois de l'année, on ne constate pas d'effet saisonnier : la réalisation des campagnes de mai à novembre n'a pas permis d'appréhender ce phénomène.

## 8.1.4 Abattement bactériologique

UN ABATTEMENT SIGNIFICATIF DE LA BACTÉRIE E.COLI EST POSSIBLE, MAIS RESTE GÉNÉRALEMENT EN DEÇÀ DE 3 ULOG

- Un abattement maximal de 5 ulog a été mesuré sur un site durant les campagnes, mais ce résultat reste marginal et n'a pas été reproduit ailleurs.
- Sur les différents sites étudiés, **l'abattement maximal atteint entre 2 et 3 ulog**, avec des moyennes comprises entre 0,7 et 1,6 ulog.
- Si ces abattements restent peu élevés, sur le site concerné par un usage sensible des eaux, la ZRV permet d'assurer un rejet en respectant l'objectif de bonne qualité des eaux de baignade 77% du temps, allant même jusqu'à une excellente qualité bactériologique en sortie ZRV 45% des fois.
- Une végétation trop dense est contre-productive pour l'élimination de cette bactérie, car elle offre une protection et des conditions favorables à sa survie. Les meilleurs rendements sont observés sur les sites peu végétalisés, et saisonnièrement lorsque la végétation est moins dense (hiver, début du printemps) sur les sites très végétalisés.
- La végétalisation des sites semble jouer un rôle plus important que le temps de séjour pour l'élimination d'E.coli. Il reste évident qu'au vu des processus d'élimination de la bactérie (préation, compétition, destruction par les UV...), un temps de séjour important sur une zone peu végétalisée augmente le potentiel d'abattement.
- La bibliographie suggère que la survie des bactéries fécales telle qu'E.coli peut être liée à la teneur en matière en suspension. Une concentration élevée en MES favorise l'attachement des E.coli aux particules, et réduit l'abattement. Ce mécanisme n'a pas été étudié au cours de l'étude.

## 8.2 Fonctions secondaires et leurs limites

### 8.2.1 Abattement complémentaire de la DCO et de la DBO

LES RÉSULTATS MONTRENT QUE LORSQUE LES CONCENTRATIONS EN SORTIE DE STEU SONT ENVIRON DEUX FOIS SUPÉRIEURES À LA LIMITÉ DE QUANTIFICATION STANDARD (SOIT 60 MG/L DE DCO ET 6MG/L DE DBO5), LA ZRV PEUT APPORTER UN ABATTEMENT COMPLÉMENTAIRE IMPORTANT.

- Sur l'ensemble des suivis effectués, la ZRV a montré peu d'impact sur les paramètres organiques qui sont la plupart du temps efficacement traités sur la station.
- Sur les concentrations élevées en entrée de ZRV (>2LQ), des abattements allant jusqu'à 76% pour la DCO et 94% pour la DBO5 ont été mesurés.
- Pour des concentrations plus faibles, la ZRV n'a pas d'impact significatif sur ces deux paramètres.

### 8.2.2 Abattement complémentaire et limites sur les nitrates et nitrites (NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>)

DANS 50% DES BILANS EFFECTUÉS LA ZRV PERMET D'OBtenir UNE DIMINUTION DU FLUX DE NITRATES ET DE NITrites REJETÉS AU MILIEU. CE RENDEMENT PEUT ATTEINDRE PLUS DE 90% MAIS EN MOYENNE S'ÉLÈVE À 35% (EN FLUX) SUR LES NITRATES, ET RESTE FAIBLE POUR LES NITrites AVEC UN RISQUE DE DÉGRADATION.

- Les mécanismes à l'origine de l'élimination des nitrates et nitrites sont similaires à ceux responsables de l'élimination de l'ammonium.
- La compilation des données montre que le flux en NNO<sub>2</sub> dans les ZRV diminue dans 58% des cas mais augmente dans 25%. Les nitrites sont des composés toxiques pour le milieu naturel, leur présence en forte concentration n'est donc pas souhaitable.

- L'augmentation des nitrites témoigne sur plusieurs sites d'un phénomène de nitrification ou de dénitrification incomplet. Un temps de séjour trop court, une carence en carbone, ou des conditions en oxygène (O<sub>2</sub>) insuffisantes peuvent être à l'origine de ce phénomène.
- Ces constatations sont les mêmes sur les 5 sites suivis dans le cadre de l'étude et sur les sites complémentaires suivis par les SATESE.

### 8.2.3 Restauration des paramètres pH et température

LA ZRV A UN RÔLE TAMON ENTRE LE REJET DE STATION ET LE MILIEU RÉCEPTEUR. ELLE PERMET DE LISER LES FLUX REJETÉS ET DE RESTAURER DES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES (pH, TEMPÉRATURE, OXYGÈNE) PLUS PROCHES DE CELLES DES EAUX DE SURFACE.

- Lorsque le pH en sortie de STEU est légèrement acide (cas des procédés incluant une nitrification poussée), la ZRV permet de se rapprocher d'un pH neutre plus proche de celui des eaux superficielles.
- La ZRV permet également de réguler la température de l'eau rejetée en fonction de la température extérieure. En hiver cela évite de rejeter des eaux plus chaudes que celles du milieu récepteur. En été cela peut devenir plus contraignant quand les températures sont très élevées et que la température de l'eau en sortie ZRV dépasse 25°C.

### 8.2.4 Ré-Oxygénéation de l'eau ou anoxie

LA PRÉSENCE D'UNE CHUTE D'EAU OU DE TURBULENCE PERMET DE RÉ-OXYGÉNER L'EAU PARFOIS PAUVRE EN OXYGÈNE EN SORTIE DE CERTAINS PROCÉDÉS.

- En traversant la ZRV, l'eau se réoxygène naturellement (échange de surface, turbulences, photosynthèse). Mais la principale source de réoxygénéation mise en avant lors de cette étude est la présence de chutes d'eau.
- En cas de végétation dense ou de tapis de lentilles d'eau limitant la pénétration de la lumière dans les ouvrages, la photosynthèse des algues ne joue plus son rôle de libérateur d'oxygène et la respiration devient prépondérante sur la photosynthèse. L'eau au niveau du rejet peut alors devenir anoxique avec un risque de dégradation de la qualité du milieu récepteur.
- L'alternance entre ces deux états (réoxygénéation et anoxie) peut favoriser les mécanismes de dénitrification.

### 8.2.5 Biodiversité / intégration paysagère / social

UNE CONCEPTION SOIGNÉE ET RÉFLÉCHIE DE LA ZRV D'UN POINT DE VUE BIODIVERSITÉ ET INTÉGRATION PAYSAGÈRE EST UN PLUS, MAIS DOIT FAIRE L'OBJET D'UNE RÉFLEXION GLOBALE NOTAMMENT EN TERMES DE SÉCURITÉ ET CONTRAINTES D'ENTRETIEN.

- Sur les 270 ZRV répertoriées sur le bassin Adour-Garonne, seules 3 mettent en avant un objectif biodiversité et paysage. Pourtant, sur les 5 zones étudiées dans le cadre de la présente étude, 2 ont fait l'objet d'une réelle réflexion sur le choix et l'implantation d'espèces végétales, 1 sur l'aspect pédagogie avec la mise en place de panneaux explicatifs et plusieurs de ces zones sont régulièrement visitées par des professionnels ou des scolaires.
- L'aspect biodiversité, paysage et social peut s'avérer un enjeu fort sur certain territoire. La ZRV peut s'inscrire dans une démarche écologique et paysagère locale, comme la trame Verte et Bleue, sans y être directement rattachée (surface végétalisée souvent négligeable à l'échelle du territoire) ou peut devenir une vitrine écologique pour la commune et un outil pédagogique intéressant.
- La valorisation de ces aspects demande des aménagements et un entretien régulier de la zone, qui peuvent avoir des répercussions sur les coûts de conception et d'exploitation.

- L'aspect sécurité, bien que peu abordé dans l'étude, ne doit pas être négligé. La ZRV peut en effet présenter des risques sanitaires et de noyade qui restent de la responsabilité directe ou indirecte du maire. Une clôture du site est recommandée.

## 8.3 Autres paramètres

### 8.3.1 Rendement sur le phosphore (Pt, PO4)

LA BILANS MONTRENT DES RÉSULTATS ALEATOIRES : DES RENDEMENTS NON SIGNIFICATIFS EN CONCENTRATIONS VOIRE DES RELARGAGES, QUELQUES RENDEMENTS POSITIFS EN FLUX LIÉS ÀUX VOLUMES INFILTRÉS.

- La plupart des bilans montrent des rendements sur concentration non significatifs (63% des cas) voire négatifs (6% des cas), avec des pics de phosphore en sortie de ZRV.
- Les rendements sur flux peuvent atteindre très ponctuellement les 80% d'abattement pour Pt ou PPO4, essentiellement lié à une perte de volume (infiltration).
- Le mécanisme principal responsable de l'abattement du phosphore est la sédimentation et l'adsorption<sup>[def.]</sup> dans les sols. Un sol riche en ions (Ca, Fe, Al selon le pH) sera d'avantage susceptible de fixer le phosphore. Pour cette raison les sols argileux présentent généralement un potentiel plus important d'adsorption.
- Les processus de stockage du phosphore (adsorption dans les sols) sont dans une moindre mesure prélevement par les plantes) sont saturables, ce qui signifie qu'ils ont une capacité limitée et ne peuvent donc contribuer à l'élimination durable à long terme.
- Ainsi, sans évacuation des capacités de stockage (sédiment, biomasse), le phosphore peut être relargué dans les eaux. Ce phénomène a été observé sur différents sites avec une dégradation de la qualité des eaux en sortie ZRV.

### 8.3.2 Rétention MES

LES RÉSULTATS SUR LES MES SONT ALEATOIRES, VARIANT D'UN EXTRÊME À L'AUTRE. TOUTEFOIS, SUR DES CONCENTRATIONS ÉLEVÉES ET EN CAS D'ACCIDENT, LA ZRV PEUT JOUER UN RÔLE PROTECTEUR

- D'un point de vue purement mécanique, si le débit de la ZRV est suffisamment lent, les MES décantent naturellement au fond des ouvrages.
- Sur toutes les ZRV suivies, une accumulation conséquente et croissante de boues a été mesurée en tête des ouvrages, ce qui confirme que la ZRV piège les matières en suspension et retient les départs de boues.
- Les résultats des analyses sont très variables, avec des rendements sur concentration pouvant atteindre 90% ou au contraire avec des pics de MES en sortie ZRV.
- Le développement de micro-algues, les résidus de l'activité biologique, ou la remise en suspension des sédiments peuvent entre autres impacter négativement ce paramètre.
- La faune sauvage tels les amphibiens, oiseaux ou mammifères présents dans les ouvrages peuvent, en période de forte agitation, contribuer à la remise en suspension de MES décantées, et dégrader ponctuellement la qualité de l'eau.
- Le dépôt des MES peut être responsable d'un colmatage des sols et donc de la diminution importante du potentiel d'infiltration.
- Pour limiter les risques de remise en suspension des MES et de colmatage, deux solutions sont proposées : la mise assec temporaire de la zone ou le curage. L'objectif premier reste d'éliminer les dépôts au fur et à mesure du temps ou à la suite d'un évènement exceptionnel.

### 8.3.3 Rétention des départs de boues accidentels

UNE STEU EFFICACEMENT CONÇUE, ASSOCIÉE À UN SYSTÈME DE COLLECTE PERFORMANT, NE DOIT PAS RELARGUER DE BOUES. NÉANMOINS, EN CAS D'UN DYSFONCTIONNEMENT ACCIDENTEL DE LA STEU, LA ZRV FAIT OFFICE DE TAMON QUI RETIENT LA POLLUTION ET PROTÈGE LE MILIEU RÉCEPTEUR.

- En cas de départ de boues de la station, la ZRV permet de retenir tout ou partie de la pollution. Ces dépôts devront être évacués régulièrement pour que la ZRV garde son efficacité et éviter une concentration et un relargage des polluants.
- Un contrôle visuel régulier de la ZRV permet de se rendre compte de la survenue d'un dysfonctionnement de la station ou d'une surverse (trop-plein, by-pass) et de ses conséquences (départ de boues, graisses, macro déchets), ce qui n'est pas toujours le cas lorsque le rejet dans le milieu récepteur n'est pas facilement accessible ou se fait dans un grand cours d'eau.
- Si la zone est soumise à des à-coups hydrauliques forts (trop-plein, réseau unitaire), un risque important de lessivage des dépôts doit être pris en compte.

### 8.3.4 Récupération des trop-pleins et by-pass

Sous réserve d'un accord administratif, le trop-plein et/ou by-pass de la STEU peut être raccordé en tête de la ZRV. Comme dans le cas des départs de boues, la ZRV fait office de tampon qui protège ponctuellement le milieu récepteur.

- Si les ouvrages d'assainissement sont équipés de trop-plein ou de by-pass, ils sont généralement connectés à la ZRV. Comme dans le cas des départs de boues, cela assure une protection du milieu en assurant une rétention de la pollution.
- Une fois encore ce rôle n'est garanti que si un entretien / curage régulier de la zone est effectué pour éviter le relargage de la pollution ou le lessivage du site par temps de pluie.

### 8.3.5 Un abattement complémentaire sur les micropolluants ?

Si une tendance semble se dégager pour les métaux et certains micropolluants [DEF.] émergents, les résultats de l'étude sont trop peu nombreux et trop variables pour conclure sur l'impact réel de la ZRV sur ces paramètres.

- La ZRV piège certains métaux, comme le cuivre, le zinc et le plomb, qui sont accumulés dans les boues. Cette accumulation implique un risque de relargage.
- Lorsque l'ibuprofène et les nonylphénols sont détectés dans les eaux de sortie de la STEU, des rendements positifs sont observés. Mais compte tenu des coûts analytiques, il n'a pas été possible de quantifier si ces molécules avaient pu se transformer en sous-produits de dégradation.
- Certains composés comme le glyphosate, l'AMPA et le diclofénac ne sont ni dégradés ni accumulés lors du passage dans la ZRV.
- Beaucoup de micropolluants n'ont pas été quantifiés en sortie de STEU : pour la plupart des composés, l'impact de la ZRV est non quantifiable.
- La littérature confirme que sur certaines molécules, la ZRV peut apporter un complément pour l'abattement des micropolluants (notamment par des phénomènes de stockage), qui reste bien inférieur aux performances de la STEU en l'absence de recours à des matériaux spécifiques au sein de la ZRV.

## 8.4 Le rôle des végétaux

Dans sa publication « Lumière sur le véritable rôle des végétaux dans le traitement des eaux usées » [17].e, le groupe de travail EPNAC rappelle que les végétaux ne jouent qu'un rôle indirect dans l'épuration des eaux usées.

Dans une ZRV, les rôles principaux des végétaux vont être de :

- Favoriser l'évapotranspiration et donc la diminution des volumes.
- Stimuler la dénitrification en offrant un support et des conditions propices au développement des microorganismes, ainsi que le « carburant » de la réaction de dénitrification : le carbone organique.
- Contribuer à la biodiversité et à l'aspect paysager du site.

Dans une moindre mesure, les végétaux peuvent également prélever en petite quantité l'azote et le phosphore présents dans les eaux.

Si l'impact sur le phosphore semble négligeable, le prélèvement de l'azote par les plantes pourrait contribuer pour partie à la réduction des flux d'azotes rejetés. Les concentrations en ammonium et nitrates en entrée de ZRV étant faibles, un prélèvement même en petite quantité de ces nutriments par les plantes peut réduire significativement les flux rejetés, en complément des mécanismes de dénitrification et de réduction des débits.

Le prélèvement des nutriments par les plantes reste un phénomène de stockage temporaire et qui n'est effectif que pendant la période végétative. Seul un fauillage et une évacuation des végétaux du site permettent d'exporter définitivement ces polluants du milieu.

De plus, ces végétaux peuvent entraîner des **contraintes d'exploitation fortes, qui sont souvent négligées.**

## 8.5 Contraintes

### 8.5.1 Accumulation de boues

UN DÉPÔT DE BOUES SE FORME NATURELLEMENT DANS LES ZONES, ET PEUT CONDUIRE À DES DYSFONCTIONNEMENTS. UN ENTRETIEN RÉGULIER PERMET DE LIMITER CE DÉPÔT.

- ➔ Un dépôt de boues d'environ 5 cm/an a été observé sur plusieurs ZRV
- ➔ La présence de végétation et surtout l'absence d'entretien conduit à la formation d'un dépôt important d'humus.
- ➔ La mise à sec des sites permet de minéraliser les boues et donc de réduire la vitesse de colmatage de la ZRV.
- ➔ Lorsque qu'un trop-plein est raccordé sur la ZRV, le dépôt de boues peut être très rapide, avec un risque important de lessivage de la zone.
- ➔ Les boues piègent et accumulent les métaux et les HAP. Une exportation des boues est donc indispensable pour limiter les risques de relargage dans le milieu.

### 8.5.2 Désordres hydrauliques

LES ZRV SONT GLOBALEMENT TOUTES SUJETTES À DES DÉSORDRES HYDRAULIQUES

- ➔ Le colmatage progressif des zones est responsable de la majorité des désordres hydrauliques (mise en charge).
- ➔ Un développement excessif ou anarchique de la végétation peut également poser problème, tout comme la présence d'arbres et d'arbustes à proximité des canalisations.
- ➔ La présence de canalisations / liaisons entre ouvrages augmente les risques de colmatage et donc de désordre hydraulique.
- ➔ Une conception et un entretien soignés du site limitent les risques d'obstruction et de mise en charge.

### 8.5.3 Nuisances, désagrément

#### LA ZRV PEUT ÊTRE SOURCES DE NUISANCE, QU'IL FAUT ANTICIPER À LA CONCEPTION

- ➔ Les nuisances sur la zone sont essentiellement liées à la faune et la flore.
- ➔ Les nuisances peuvent également être liées à l'hydraulique (débordement, saturation des sols...)
- ➔ Une conception réfléchie et adaptée au site, complétée par un entretien régulier, permettent de limiter ces nuisances.

### 8.5.4 Entretien, exploitation

#### POUR UN FONCTIONNEMENT OPTIMAL, L'ENTRETIEN ET L'EXPLOITATION DE LA ZONE DOIVENT ÊTRE RÉFLÉCHIS ET ANTICIPÉS.

- ➔ Pour maximiser le potentiel de ZRV, que ce soit en termes d'hydraulique, de performance épuratoire, de nuisances, ..., un entretien fréquent et adapté au site doit être prévu.
- ➔ Pour faciliter l'entretien, la conception du site devra prendre en compte cette contrainte
- ➔ Parmi les opérations indispensables au bon fonctionnement de la ZRV, on notera :
  - Taille et exportation régulière (annuelle) de la végétation dans les noues.
  - Taille et entretien des arbres et arbustes (saules...).
  - Exportation des lentilles d'eaux
  - Entretien des espaces verts, en évitant le recours au désherbage chimique.
  - Chasse aux nuisibles (ragondins...).
  - Mise à sec régulière des ouvrages.
  - Curage de la ZRV en fonction des capacités de stockage mais à une fréquence assez régulière pour éviter les relargages.

## 9 Conclusion

Les campagnes de mesure effectuées de 2013 à 2015 ainsi que le recueil de données complémentaires sur d'autres sites ont permis de mettre en évidence un bilan dans l'ensemble positif sur les ZRV. Ces dispositifs ont montré leur rôle en termes de lissage des pointes de débit, de réduction des flux rejetés au milieu récepteur de surface par diminution des volumes, de baisse ponctuelle de certaines pollutions grâce aux processus biologiques ou encore en termes de création de biodiversité locale.

Toutefois, le fait de ne pas travailler en conditions contrôlées (système ouvert sol/eau/plante influencé par les conditions climatiques, le niveau des nappes, ...) peut-être à l'origine de certaines faiblesses. Ainsi :

- ✓ Aucun rendement ne peut être garanti,
- ✓ Des risques de dégradation du rejet existent ponctuellement (ex : lessivage de dépôts de la ZRV) ou de façon courante (ex : STEU ayant un niveau de traitement poussé),
- ✓ Un entretien suivi est nécessaire pour maintenir à son optimum le fonctionnement de la zone.

Les suivis des milieux récepteurs réalisés dans le cadre de l'étude ont montré que si les ZRV étudiées pouvaient contribuer à atténuer l'impact du rejet sur les cours d'eau, leur effet ne parvenait pas à corriger totalement l'impact de la STEU. De plus, sur plusieurs sites étudiés, des actions complémentaires sur d'autres types de pressions seraient nécessaires pour atteindre l'objectif bon état de la DCE.

L'ensemble de ces éléments doivent être considérés dans les phases d'études préalables au regard du contexte du projet d'assainissement en mettant dans la balance l'enjeu environnemental et les moyens financiers et humains de la collectivité.

*Ce rapport est complété par le document : « Zones de rejet végétalisées en Adour Garonne : recommandations pour la conception et la gestion ». Enfin, les fiches techniques « Zones de rejet végétalisées en Adour-Garonne : guide pratique pour la conception et la gestion » sont une synthèse opérationnelle des livrables de l'étude, à destination de tous les acteurs potentiellement concernés par la mise en place d'une ZRV.*

## 10 Pour aller plus loin

Un des enjeux majeurs à venir consiste à promouvoir un mode de gestion de l'eau qui soit efficace, tout en étant beaucoup moins perturbateur pour les écosystèmes, et en particulier, pour les hydrosystèmes. C'est dans cette démarche que les ZRV ont vu le jour.

Ces ouvrages font partie des mesures correctrices possibles pour atténuer l'impact du rejet des STEU sur le milieu récepteur de surface lorsque le niveau de rejet atteignable ne suffit pas pour atteindre le bon état. Plus de 50 % des ZRV du bassin voient le jour pour obtenir un zéro rejet en période d'étiage. L'étude a d'ailleurs montré que le phénomène d'infiltration est essentiel et prépondérant dans la réduction des flux observés. Il serait donc intéressant d'approfondir l'impact de l'infiltration des eaux usées traitées sur les masses d'eau souterraines par des projets de recherche nationaux. L'étude a par ailleurs mis en évidence l'absence de fiabilité des tests actuels pour déterminer le coefficient de perméabilité des sols. L'IRSTEA travaille actuellement sur des techniques de métrologie pour fiabiliser cette mesure.

La ZRV peut être considérée comme un ouvrage de transition capable de « renaturer » le rejet avant de rejoindre le cours d'eau. Pourtant, l'étude a montré les limites de ces zones pour permettre l'atteinte de l'objectif bon état face à des cours d'eau soumis à des assecs de plus en plus fréquents et longs, et à des pressions autres que domestiques.

C'est en ayant une approche globale à l'échelle des bassins versants des cours d'eau, qu'il est intéressant de raisonner pour juger de la pertinence des mesures à mettre en œuvre en vue de la reconquête du bon état.

Les ZRV font partie d'un panel de solutions pour atténuer l'impact des projets d'assainissement mais elles ne doivent pas occulter la possibilité de mettre en œuvre d'autres mesures :

- ✓ les mesures compensatoires qui consistent à redonner au cours d'eau une capacité d'autoépuration suffisante pour ne pas être dégradé par un rejet ponctuel qui ne respecterait pas les standards requis pour le bon état.
- ✓ les actions de réduction des autres pressions notamment la réduction des prélèvements sur la ressource.

La mise en œuvre de ces mesures demande de pouvoir dépasser les clivages thématiques et de développer au sein des territoires une gestion opérationnelle intégrée et territoriale de l'eau.

# 11 Tables des références

## 11.1 Documents contractuels

- [A]. *Directive 2000/60/CE* du 23/10/00 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau - JOCE n° L 327 du 22 décembre 2000
- [B]. *SDAGE 2016-2021* - agence de l'eau Adour-Garonne
- [C]. *Arrêté du 21 juillet 2015* relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5 - JORF n°0190 du 19 août 2015 page 14457 texte n° 2, modifié par l'arrêté du 24 août 2017
- [D]. *Commentaire technique de l'arrêté du 21 juillet 2015* – Partie 1 : Conception et exploitation des systèmes d'assainissement - Fiche 14 : Évacuation des eaux usées traitées, Dispositifs de rejet
- [E]. *Arrêté du 27 juillet 2015* modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement - JORF n°0198 du 28 août 2015 page 15032 texte n° 4
- [F]. *Arrêté du 25 juin 2014* modifiant l'arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts - JORF n°0153 du 4 juillet 2014 page 11059 texte n° 29
- [G]. *Directive 2006/7/CE* du parlement européen et du conseil du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE - JOUE n° L 64 du 4 mars 2006

## 11.2 Bibliographie

- [1]. Agence de l'Eau Rhin Meuse, (2011). [Plaquette] *Aménagements des milieux naturels en aval de station d'épuration : Zone de rejet végétalisée*
- [2]. Agence de l'Eau Rhin Meuse, (2012). [Présentation] *Journée d'échanges techniques « bureaux d'études »* - 24 mai 2012, Mise en place des zones de rejet végétalisées sur le bassin Rhin-Meuse : Bilan, résultats, contraintes et perspectives
- [3]. ARPE-PACA, (2009). *Les Zones de Rejets Intermédiaires : des procédés naturels pour réduire l'impact du rejet des stations d'épuration sur les milieux aquatiques.*
- [4]. ARPE-PACA, SABA, (2010). *Évaluation de l'efficacité des Zones de Rejets Intermédiaires des stations d'épuration du bassin de l'Arc.*
- [5]. ARPE-PACA, (2013). *Les Zones de rejets en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Les dossiers techniques de l'ARPE, n°2.*
- [6]. ASTEE, (2013). *Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques POURQUOI ? COMMENT ?*
- [7]. BOISSON J., REMY G., PONS M.N., BREIL P., NAMOUR P., (2015). *Épuration en eau courante (EPEC). ANR-Ecotech*
- [8]. BORIN, M., MILANI, M., SALVATO, M., TOSCANO, A. (2011). Ecological Engineering 37 - *Evaluation of Phragmatis australis (Cav.) Trin. evapotranspiration in Northern and Southern Italy.*
- [9]. BOURDERIOUX J., TOURNOUUD C., (2011). [Rapport de stage] *Zones de rejet végétalisées : proposition de matériels de mesure et de sites potentiels en vue d'un suivi expérimental sur le bassin Adour Garonne*
- [10]. BREIL P., PONS M.N., KHIDIRI H., POTIER O., LECLERC J-P., (2015). *Épuration en eau courante (EPEC): annexe 5 – modélisation. ANR-Ecotech*
- [11]. BRIX H., (1994). Wat. Sci. Tech. Vol. 29, n° 4 - *Functions of macrophytes in constructed wetlands -*
- [12]. CHAZARENC, F., MERLIN, G., GONTHIER, Y. (2003). Ecological Engineering 21 - *Hydrodynamics of horizontal subsurface flow constructed wetlands.*
- [13]. CEMAGREF - BOUTIN C., IWEMA A., LAGARRIGUE C., (2010). *Point sur les Zones de Dissipation Végétalisées : Vers une protection supplémentaire du milieu récepteur de surface ?*
- [14]. CEMAGREF - CHOUBERT J-M., COQUERY M. (2011). [Présentation] Journée technique organisée par l'ASCOMADE - Besançon – 20 octobre 2011, *Devenir des micropolluants dans les stations de traitement des eaux usées ; Méthodes, résultats, perspectives (projet AMPERES et ARMISTIQ).*
- [15]. CHOUBERT J-M., MARTIN-RUEL S., BUDZINSKI H., MIEGE C., ESPERANZA M., SOULIER C., LAGARRIGUE C., COQUERY M., (2011). ASTEE Techniques Sciences Méthodes n° 1/2 2011 - *Évaluer les rendements des stations d'épuration : Apports méthodologiques et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées. (Micropolluants et eaux usées : les résultats du projet Ampères).*
- [16]. CREN Midi-Pyrénées – DEJEAN S. (2015). *Suivis naturalistes des zones de dispersion de 3 STEU dans le Tarn*
- [17]. EPNAC [en ligne], <https://epnac.irstea.fr/zones-de-rejet-vegetalisees/>
  - a. EPNAC, (2012). *Les zones de rejet végétalisées : note de présentation.*
  - b. EPNAC, (2012). *Contenu des études préalables à la réalisation d'une Zone de Rejet Végétalisée.*
  - c. EPNAC, (2013). *Analyse réglementaire des Zones de Rejet Végétalisées (ZRV).*
  - d. EPNAC, (2013). *État des lieux national des Zones de Rejet Végétalisées*
  - e. EPNAC, (2014). *Le véritable rôle des végétaux dans le traitement des eaux usées.*
  - f. EPNAC, (2015). *Cahier des charges : études préalables et équipements des ZRV nécessaires à leur suivi.*
  - g. EPNAC, (2015). *Classification des ZRV*

[18]. EPNAC, (2016). *Éléments de méthode pour la définition des niveaux de rejets du petit collectif*

[19]. GARCIA-ARMISEN T., (2006). *Etude de la dynamique des Escherichia coli dans les rivières du bassin de la Seine*

[20]. GUILLOU L., (2015). [Rapport de stage] *Suivi expérimental du fonctionnement des zones de rejet végétalisées et des milieux récepteurs associés.*

[21]. IRH Ingénieur Conseil, (2015). *Suivi expérimental du fonctionnement des zones de rejet végétalisées et des milieux récepteurs associés : Etat des lieux des ZRV sur le bassin*

[22]. LIFE + LAG'Nature, (2012). *Action A.1.3 : Suivi de la zone humide réceptrice des rejets de la station d'épuration de Mauguio – recueil d'expériences similaires*

[23]. LIN Y.-F., JING S.-R., WANG T.-W., LEE D.-Y., (2001). *Environmental Pollution Volume 119, Issue 3, October 2002 - Effects of macrophytes and external carbon sources on nitrate removal from groundwater in constructed wetlands*

[24]. NUEL M., (2012). [Rapport d'apprentissage] *Présentation et étude comparative de trois Zones de Rejet Végétalisées (ZRV)*

[25]. NUEL M., LAURENT J., BOIS P., WANKO A., (2016). [Présentation] GRUTTE 2016 – 11<sup>ème</sup> Congrès international – Poitiers – 12 octobre 2016, *Identification et quantification de 81 résidus médicamenteux au sein d'une Zone de Rejet Végétalisée : rétention différenciée des compartiments eau-sol-plante.*

[26]. NUEL M., LAURENT J., BOIS P., WANKO A., (2016). [Poster] GRUTTE 2016 – 11<sup>ème</sup> Congrès international – Poitiers – 12 octobre 2016, *Effets du vieillissement et de la saisonnalité sur le comportement hydrodynamique d'une Zone de Rejet Végétalisée (ZRV)*

[27]. NUEL M., (2017) - *Devenir des résidus médicamenteux et de leurs métabolites au sein des Zones de Rejet Végétalisées.*

[28]. ONEMA/CEMAGREF - ORAISON F., SOUCHON Y., VAN LOOY K., (2011). *Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments : une voie commune ? - Synthèse bibliographique*

[29]. ONEMA/IRSTEA – FORQUET N., PETITJEAN A., BLOEM E., BOUTIN C., (2014). *L'infiltration d'eau usée traitée dans le sol pour les ZRV : revue bibliographique, objectifs de l'étude, moyens et méthodes mis en œuvre*

[30]. PEDESCOLL, A., SIDRACH-CARDONA, R., SANCHEZ, J.C., BÉVARES, E. (2013) *Ecological Engineering 58 - Evapotranspiration affecting redox conditions in horizontal constructed wetlands under Mediterranean climate : Influence of plant species.*

[31]. SINBIO, (2013). [Présentation] *Carrefour des gestions locales de l'eau* – Rennes – 23 et 24 janvier 2013

[32]. SATESE 81, (2012). [Présentation] *Les zones de dissipation végétalisées*

[33]. VERAART A.J., DE BRUIJNE W.J.J., DE KLEIN J.J.M., PEETERS A.T.H.M., SCHEFFER M., (2011). *Biogeochemistry 104: 267 - Effects of aquatic vegetation type of denitrification*

[34]. VYMAZAL J., (2007). *Science of The Total Environment - Volume 380, Issues 1–3, 15 July 2007 - Removal of nutrients in various types of constructed wetlands*

[35]. WEISNER S.E.B., ERIKSSON P.G., GRANÉLI W., LEONARDSON L., (1994). *Ambio a journal of the Human Environment, September 1994 - Influence of macrophytes on nitrate removal in wetlands*

[36]. ZHART (FU I14), (2016). *Recommandations pour la conception, le suivi et la gestion de nouveaux concepts de Zone de Rejets Végétalisées. Application en sortie de stations de traitement des eaux usées municipales*

# ANNEXES

## 1. ANNEXE PARTIE A..... : GÉNÉRALITÉ ET MÉTHODES

- ANNEXE A1 : Définitions
- ANNEXE A2 : Incertitudes de mesure et limites de quantification
- ANNEXE A3 : Inventaire faune-flore - Quelques espèces typiques des zones étudiées
- ANNEXE A4 : Calcul d'incertitude et traitement statistique des données
- ANNEXE A5 : Méthodologie adaptée du test double anneau
- ANNEXE A6 : Protocole de curage des ZRV : Études préliminaires, évacuation et analyses des boues curées

## 2. ANNEXE PARTIE B..... : RÉSULTAT DES SUIVIS

- ANNEXE B1 : Tableau récapitulatif des suivis effectués
- ANNEXE B2 : Synthèse des résultats compilés par site
- ANNEXE B3 : Synthèse des résultats compilés par paramètres
- ANNEXE B4 : Résultat des calculs d'impact théorique sur la qualité des masses d'eau réceptrices
- ANNEXE B5 : Résultats détaillés

ANNEXE PARTIE A :  
GÉNÉRALITÉ ET MÉTHODES

## ANNEXE A1 : Définitions

**Bioturbation** : Remaniement de sols ou de sédiments aquatiques produit par les activités des organismes vivants présents dans ces milieux. La bioturbation est assurée par des organismes animaux tels que des lombrics et des vers de vase.

**Adsorption** : Phénomène de surface par lequel des molécules se fixent sur une surface solide (adsorbant) depuis une phase - ici liquide.

**Autoépuration** : ensemble des processus biologiques, chimiques et physiques permettant à un sol ou à un écosystème aquatique équilibré de transformer ou d'éliminer les substances qui lui sont apportées (pollution).

**Gabion** : Casier à grosse maille rempli de pierres.

**Hydromorphie** : L'hydromorphie est la caractéristique d'un sol qui montre des marques d'une saturation régulière en eau. Cette saturation du sol entraîne des phénomènes d'anoxie qui perturbent la faune du sol et la végétation.

**Hyporhéique (zone)** : Ensemble des sédiments saturés en eau sur lequel circulent les eaux courantes.

La dynamique de l'écoulement et du comportement dans cette zone (dite de débit hyporhéique) est reconnue pour être importante pour les interactions des eaux superficielles / eaux souterraines. La zone hyporhéique joue un rôle important dans l'auto-épuration du cours d'eau.

Si le cours d'eau s'écoule sur un substratum imperméable, il ne développera pas de zone hyporhéique.

**Pressions (sur les milieux)** : (source : EauFrance) Les pressions sont considérées comme la description quantitative ou qualitative des émissions et des utilisations de l'eau qui peuvent être la cause possible d'altérations des milieux.

Les pressions générées peuvent être classées selon leur impact sur le milieu aquatique en distinguant celles qui modifient sa qualité, son hydrologie, son hydromorphologie ou sa biologie. Elles peuvent également être classées selon qu'elles agissent directement sur le milieu aquatique (rejets ponctuels ou diffus, pollutions et prélèvements) ou indirectement (usages des sols, altérations hydromorphologiques...)

L'étude des pressions permet de limiter les impacts sur l'environnement et les nuisances, de mieux gérer les ressources et de protéger le cadre de vie.

**Micropolluant** : (selon arrêté du 21/07/2015) Une substance active minérale ou organique susceptible d'être toxique, persistante et bioaccumulable dans le milieu, à des concentrations faibles (de l'ordre du mg/l ou du µg/l). Sont notamment des micropolluants les substances surveillées au titre de la directive cadre sur l'eau (arrêté du 25 janvier 2010 susvisé).

**Milieu récepteur** : (selon arrêté du 21/07/2015) Un écosystème aquatique, ou un aquifère, où sont rejetées les eaux usées, traitées ou non. Un milieu récepteur correspond généralement à une partie de masse d'eau ou une zone d'alimentation de masse d'eau.

**NQE** : Afin de prévenir et réduire la pollution des eaux, les concentrations dans le milieu sont comparées à une Norme de Qualité Environnementale, ou NQE, définie comme la « concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement ».

**Sénescence** : En biologie, phénomène de vieillissement qui entraîne la dégradation des fonctions de l'organisme. Chez les végétaux, la sénescence peut ne toucher qu'une seule partie d'un organisme. C'est le cas de la sénescence des feuilles par exemple qui se caractérise par leur jaunissement puis leur chute en automne, ou encore des fruits lorsqu'ils tombent de la plante.

**Sorption** : Processus par lequel une substance est adsorbée ou absorbée.

**Système d'assainissement collectif** : (selon arrêté du 21/07/2015) Tout système d'assainissement constitué d'un système de collecte sous la compétence d'un service public d'assainissement [...] et d'une station de traitement des eaux usées d'une agglomération d'assainissement et assurant l'évacuation des eaux usées traitées vers le milieu récepteur.

## ANNEXE A2 : Incertitudes de mesure et limites de quantification

# Incertitudes de mesure et limites de quantification

## Données laboratoire d'analyse (Eurofins Saverne) :

Paramètres	Unités	Méthode	Incertitude	LQ
<b>Matrice Eau</b>				
pH	-	NF EN ISO 10523	5% (B)	
Conductivité corrigée à 25 °C	µS/cm	NF EN 27888	5% (B)	0.01
Matières en suspension (filtration)	mg/l	NF EN 872	15% (B)	2
Nitrate	mg/l NO3	NF EN ISO 13395	15% (B)	1 ou 2*
Azote nitrique	mg/l N-NO3	NF EN ISO 13395	15% (B)	0.2 ou 0.5*
Nitrite	mg/l NO2	NF EN ISO 13395	5% ou 15%* (B)	0.03 ou 0.4
Azote nitreux	mg/l N-NO2	NF EN ISO 13395	5% ou 10%* (B)	0.01 ou 0.02*
Orthophosphates	mg/l PO4	Méthode interne selon NF EN ISO 6878	15%	0.1 ou 0.3*
Demande Chimique en Oxygène	mg/l O2	NFT 90-101	15% (B)	30
Demande Biochimique en Oxygène	mg/l O2	NF EN 1899-1	20 ou 35%* (B)	3
Chlorure	mg/l Cl	Méthode interne selon NF EN ISO 15682	15%	1
Carbone organique total	mg/l C	NF EN 1484	8% ou 10%* (A)	0.5
Azote Kjeldahl	mg/l N	NF EN 25663	5% (B)	3 ou 1*
Ammonium	mg/l NH4	NFT 90-015-2	5 ou 10% (B)	0.5 ou 0.05*
Potentiel redox	mV	Méthode interne		
Minéralisation HNO3 Bloc chauffant	-	NF EN ISO 15587-2		
Phosphore total	mg/l P	NF EN ISO 11885	12 ou 30% (A)	0.01 ou 0.005*
Escherichia coli (NPP miniaturisé)	NPP/100 ml	NF EN ISO 9308-3		56 ou 38*
<b>Matrice Boues</b>				
Matière sèche	% P.B.	NF EN ISO 17025	7% (A)	0.1
Refus pondéral à 2 mm	% P.B.	NF EN ISO 17025		1
Matières organiques à 500°C	% MS	NF EN ISO 17025		0.1
Cadmium	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	35% (B)	0.4
Chrome	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	12% (A)	5
Cuivre	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	15% (A)	5
Nickel	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	14% (A)	1
Plomb	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	55% (B)	5
Zinc	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	13% (A)	5
Mercure	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	20% (B)	0.1
Naphtalène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	40% (B)	0.05
Acénaphthylène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	35% (B)	0.05
Acénaphtène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	30% (B)	0.05
Fluorène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	35% (B)	0.05
Phénanthrène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	40% (B)	0.05
Anthracène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	30% (B)	0.05
Fluoranthène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	40% (B)	0.05
Pyrène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	35% (B)	0.05
Benzo(a)anthracène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	40% (B)	0.05
Chrysène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	45% (B)	0.05
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	25% (B)	0.05
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	35% (B)	0.05
Benzo(a)pyrène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	35% (B)	0.05
Dibenzo(ah)anthracène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	35% (B)	0.05
Benzo(ghi)Pérylène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	40% (B)	0.05
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	30% (B)	0.05
PCB 28	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	30% (B)	0.01
PCB 52	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	25% (B)	0.01
PCB 101	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	30% (B)	0.01
PCB 118	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	40% (B)	0.01
PCB 138	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	25% (B)	0.01
PCB 153	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	30% (B)	0.01
PCB 180	mg/kg MS	NF EN ISO 17025	25% (B)	0.01

Méthode de calcul de l'incertitude (valeur maximisée) : A : Eurachem - B : XP T 90-220

\*Incertitude et LQ différente selon le type d'eau : chargée ou peu chargée

## Données laboratoire d'analyse (Laboratoire LADrome) :

	Paramètre	Unité	Méthode	Incertitude	LQ
<b>Matrice EAU</b>					
Métaux	Arsenic	µg/L	NF EN ISO 17294-2	10%	0.2
	Cadmium	µg/L	NF EN ISO 17294-2	10%	0.2
	Chrome Total	µg/L	NF EN ISO 17294-2	10%	0.2
	Cuivre	µg/L	NF EN ISO 17294-2	10%	0.2
	Mercure	µg/L	CMM_M034	10%	0.1
	Nickel	µg/L	NF EN ISO 17294-2	10%	0.2
	Plomb	µg/L	NF EN ISO 17294-2	10%	0.2
	Zinc	µg/L	NF EN ISO 11885	10%	2
Béta bloquants	Aténolol	µg/L	CMO_MT51	40%	0.01
	Métoprolol Tartrate	µg/L	CMO_MT02	40%	0.02
	Propranolol Hydrochloride	µg/L	CMO_MT51	40%	0.02
Antibiotiques	Sulfaméthoxazole	µg/L	CMO_MT51	40%	0.02
	Trimétoprime	µg/L	CMO_MT51	40%	0.01
	Erythromycine	µg/L	CMO_MT51	40%	0.02
	Roxythromicine	µg/L	CMO_MT51	40%	0.01
	Tylosine	µg/L	CMO_MT51	40%	0.02
Autres médicaments	Carbamazépine	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	Ibuprofène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	Diclofénac Sodium Salt	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	Estrone	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	17-beta-Estradiol	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	Ethinylestradiol	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
Herbicides, pesticides	Glyphosate	µg/L	CMO_MT14	25-50%	0.05
	Glufosinate d'ammonium	µg/L	CMO_MT14	25-50%	0.05
	AMPA	µg/L	CMO_MT14	25-50%	0.05
	Atrazine	µg/L	CMO_MT02	30%	0.02
	Simazine	µg/L	CMO_MT02	30%	0.02
	Diuron	µg/L	CMO_MT02	30%	0.02
	Isoproturon	µg/L	CMO_MT02	30%	0.04
Alkylphénols	4 Nonylphénols Ramifiés	µg/L	CMO_MT02	45%	0.04
	4 ter Butylphénol	µg/L	CMO_MT02	45%	0.04
	Nonylphénol Diethoxylate	µg/L	CMO_MT02	25%	0.1
	Nonylphénol Monoethoxylate	µg/L	CMO_MT02	25%	0.1
	Nonylphénols	µg/L	CMO_MT02	45%	0.04
	Octylphénol para-tert	µg/L	CMO_MT02	45%	0.04
	Somme Nonylphénols	µg/L	Calcul	-	0.04
Hydrocarbures polycyclique (HAP)	Somme des HAP	µg/L	Calcul	-	0.005
	Naphtalène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.02
	Phénanthrène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	Anthracène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	Acénaphthylène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.03
	Acénaphthène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	Fluoranthène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	Fluorène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	Benzo(a)Anthracène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.03
	Chrysène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	Benzo(b) Fluoranthène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
	Benzo(k)Fluoranthène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
	Benzo(a)Pyrène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.001
	Indéno(c-d)Pyrène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	Pyrène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	Dibenzo(a,h)Anthracène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.01
	Benzo(ghi)Perylène	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005

PCB101	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB105	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB114	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB118	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB123	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB126	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB132	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB138	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB149	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB153	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB156	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB157	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB160	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB163	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB167	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB169	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB170	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB180	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB189	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB193	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB194	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB209	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB28	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB31	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB35	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB44	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB52	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB77	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
PCB81	µg/L	CMO_MT02	40%	0.005
Somme PCB	µg/L	CMO_MT02	-	0.005
PCB Dioxin-Like	µg/L	Calcul	-	0.005
PCB Indicateurs	µg/L	Calcul	-	0.005

**ANNEXE A3 : Inventaire faune-flore -  
Quelques espèces typiques  
des zones étudiées**

<p><b>Roseaux à balais</b> <i>Phragmites australis</i></p> 	<p><b>Massette à large feuilles</b> <i>Typha latifolia</i></p> 	<p><b>Saule</b> <i>Salix sp.</i></p> 
<p><b>Jonc</b> <i>Juncus sp.</i></p> 	<p><b>Jonc des chaisiers</b> <i>Schoenoplectus lacustris</i></p> 	<p><b>Scirpes des marais</b> <i>Eleocharis palustris</i></p> 
<p><b>Laîche</b> <i>Carex sp.</i></p> 	<p><b>Iris des marais</b> <i>Iris pseudacorus</i></p> 	<p><b>Acore</b> <i>Acorus calamus</i></p> 

<p><b>Salicaire commune</b> <i>Lythrum salicaria</i></p> 	<p><b>Eupatoire chanvrine</b> <i>Eupatorium cannabinum</i></p> 	<p><b>Epilobe à petites fleurs</b> <i>Epilobium parviflorum</i></p> 
<p><b>Renoncule rampante</b> <i>Ranunculus repens</i></p> 	<p><b>Ache faux cresson</b> <i>Helosciadium nodiflorum</i></p> 	<p><b>Chanvre d'eau</b> <i>Lycopus europaeus</i></p> 
<p><b>Menthe aquatique</b> <i>Mentha aquatica</i></p> 	<p><b>Menthe à feuille ronde</b> <i>Mentha suaveolens</i></p> 	<p><b>Renouée</b> <i>Persicaria lapathifolia</i></p> 

FAUNE – Quelques exemples

Azuré

Espèces variées



Agripode frelon

*Argiope bruennichi*



Libellule rouge

*Sympétrum sp.*



Agrion

Espèces variées



Grenouille commune

*Pelophylax sp.*



Limnées

*Lymnaea sp.*



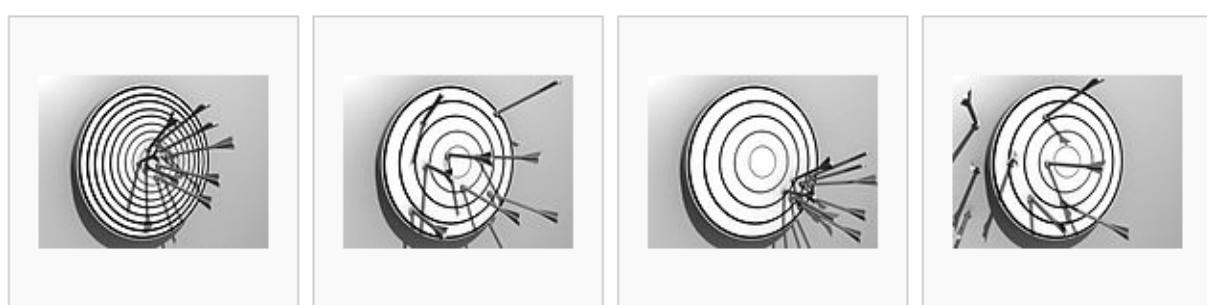
## ANNEXE A4 : Calcul d'incertitude et traitement statistique des données

## ■ Incertitudes

### ○ Définition

Dans le cadre de cette étude, l'incertitude est l'estimation des erreurs qui se produisent lors de l'échantillonnage et/ou les mesures. La constitution d'un échantillon moyen et les instruments de mesure n'étant pas de précision infinie, les mesures faites pendant une expérience ne sont pas exactes. Il faut donc évaluer ces incertitudes pour répondre à la question : « la relation n'est pas vérifiée exactement parce qu'elle est fausse ou parce que les mesures sont incertaines ? » On en déduit des marges d'erreurs, en dehors desquelles la relation sera invalidée.

Concernant l'incertitude sur la mesure, la justesse, la fidélité et la résolution d'un système d'acquisition déterminent l'incertitude finale (figure 1).



Mesure juste, fidèle et bien résolue.

Mesure juste, dispersée et mal résolue.

Mesure avec un biais, fidèle et peu résolue.

Mesure biaisée, dispersée et mal résolue.

Figure 38 : Sources d'incertitude sur la mesure.

Vocabulaire associé au calcul de l'incertitude :

- $G$  : grandeur à mesurer
- $g$  : mesure de la grandeur  $G$
- $u(G)$  : Incertitude type
- $\frac{u(G)}{g}$  : Incertitude relative

### ○ Intervalle de confiance

L'intervalle de confiance à  $x\%$  est un intervalle de valeurs qui a  $x\%$  de chance de contenir la vraie valeur du paramètre estimé.

L'intervalle de confiance se définit à partir d'une incertitude élargie qui se calcule en multipliant  $u$  par un coefficient d'élargissement  $k$  :

$$U = k * u$$

avec :  $k = 2$  pour une confiance à 95%

$k = 3$  pour une confiance à 99%

On parle alors d'intervalle de confiance :  $[g-U(G), g+U(G)]$ .

## ○ Source d'incertitude

Dans le cadre de cette étude, l'incertitude sur la mesure de la concentration (notée  $U_{\text{analyse}}$ ) d'un l'échantillon est donnée par le laboratoire d'analyse pour chaque paramètre et pour chaque méthode d'analyse. Les sources d'incertitude sur la mesure de la concentration de l'échantillon sont liées aux effets de matrice, la stabilité du paramètre à analyser, le conditionnement et le résultat d'analyse. A cette incertitude d'analyse il faut ajouter les incertitudes liées à l'échantillonnage. En effet, une faible portion du prélèvement d'eau est extraite et la teneur du polluant mesurée dans cet échantillon devrait idéalement être identique à la teneur de ce polluant dans le prélèvement d'eau étudiée. La différence traduit l'incertitude liée à l'échantillonnage.

Il en est de même pour le mesure du débit, il faut associer à l'incertitude de l'appareil de mesure l'incertitude liée aux conditions du site.

**Le tableau 1 représente les sources d'incertitudes contribuant au calcul des flux et du rendement d'un seul bilan, le tableau 2 celles pour le calcul de valeurs moyennes de plusieurs bilans.**

Tableau 30 : Sources d'incertitudes contribuant au calcul des flux et du rendement d'un seul bilan

N°	Origines	Objet	Remarques	Erreur maximum estimée ou incertitude étendue	Estimation de l'incertitude-type relative.
1	<b>Méthodes</b>	Mesures du débit	Incertitude-étendue standard d'un seuil	5%	5% / $\sqrt{3}$
2	<b>Conditions de site</b>	Mesures du débit	Encrassement du seuil, conditions d'installation	(Selon observations)	
3	<b>Préleveur</b>	Pollution échantillon, effet mémoire.	Décontamination préalable du matériel.	Négligeable	0
4	<b>Méthodes</b>	Représentativité des prélèvements par rapport au débit (asservissement temps ou débit ?)	Fractionnement, nombre de prélèvement fini	5%	5% / $\sqrt{3}$
5	<b>Échantillon</b>	Durée, nb de prélèvements	Échelon de 1 prélèvement en début et fin de bilan 24h	Négligeable	0
6	<b>Conditions de site</b>	Hétérogénéité, représentativité du prélèvement	Minimisation par la stratégie de prélèvement et le choix d'un point convenable <i>(sauf si l'opérateur s'est aperçu de quelque chose)</i>	Négligeable	0
7	<b>Analyse</b>	Résultat de la concentration	Rapport d'analyse	Cf. ANNEXE A2	Cf. ANNEXE A2

Tableau 31 : Sources d'incertitudes contribuant au calcul des flux et du rendement de plusieurs bilans

<b>Méthodes</b>	Représentativité des prélèvements par rapport à la variabilité des mesurandes	Evènements manqués (débordements, fronts ou pics de pollution, ...)	(Selon observations)
<b>Conditions de site</b>	Variation de la concentration entre deux bilans successifs	Durée du bilan < temps de séjour	(Selon observations)

## ■ Méthodes de calcul retenues dans le cadre de l'étude

### ○ Expression du résultat d'analyse, limite de détection et limite de quantification

- Si le résultat d'analyse est exprimé sous la forme Valeur  $\pm$  Incertitude étendue, dans les calculs, nous évaluerons l'incertitude-type ( $u$ ) sur le résultat d'analyse  $u = (\text{Incertitude étendue} / 2)$
- La limite de détection (LD) d'une méthode est la plus basse concentration pour un composé, analysé dans une matrice réelle, qui lorsque traité à travers toutes les étapes d'une méthode complète, produit un signal détectable avec une fiabilité définie, statistiquement différent de celui produit par un «blanc» dans les mêmes conditions.  
La probabilité de déclarer faussement l'absence du composé étant inférieure à 5%.

**Dans cette étude, un résultat inférieur à la LD est considéré comme égal à zéro.**

- La limite de quantification (LQ) d'une méthode correspond à la plus faible concentration d'un produit à analyser dans un échantillon qui puisse être quantifiée avec une précision et une exactitude acceptables dans des conditions expérimentales indiquées.  
Dans cette étude, si le résultat est exprimé sous forme de limite de quantification ( $< LQ$ ) il est considéré que toute les valeurs entre 0 et la LQ ont même probabilité d'apparition (distribution rectangulaire) ; pour les calculs, il est évalué :

**Résultat =LQ et son incertitude-type associée  $u(\text{résultat}) = (LQ/\sqrt{3})$**

### ○ Rendement sur concentration

L'incertitude sur la concentration est calculée à partir de l'incertitude d'échantillonnage (points 3 à 6, tableau 1) et l'incertitude sur l'analyse (point 7, tableau 1) comme suivant :

$$uC = 2 * \sqrt{u_{\text{échantillonnage}}^2 + u_{\text{analyse}}^2}$$

Lors du COPIL du 22 avril 2014 il a été décidé de prendre en compte uniquement l'incertitude d'analyse dans le calcul du rendement sur concentration.

L'incertitude du rendement sur concentration est calculée comme suivant :

$$\frac{uR_C}{R_C} = \sqrt{\left(\frac{uC_s}{C_s}\right)^2 + \left(\frac{uC_e}{C_e}\right)^2 - 2 * \left(\frac{uC_s}{C_s}\right) * \left(\frac{uC_e}{C_e}\right) * a}$$

avec :  $R_C$  : rendement sur concentration

$C_s$  : concentration en sortie

$C_e$  : concentration en entrée

Le terme «  $2 * (uC_s/C_s) * (uC_e/C_e) * a$  » permet de compenser le fait que l'erreur sur la concentration en entrée et en sortie est partiellement liée. En effet, l'erreur systématique sera probablement la même pour les deux valeurs.

Pour une valeur de  $a = 0.5$  par exemple, on considère que 50% de l'erreur est systématique et 50 % aléatoire.

Lors du COPIL restreint du 22 avril 2014 il a été décidé de ne pas prendre en compte cette minimisation dans le calcul du rendement sur concentration.

**Au final, dans le cadre de cette étude, l'incertitude du rendement sur concentration est calculée comme suivant avec pour seule incertitude prise en compte l'incertitude d'analyse :**

$$\frac{uR_C}{R_C} = \sqrt{\left(\frac{uC_s}{C_s}\right)^2 + \left(\frac{uC_e}{C_e}\right)^2}$$

### ○ Rendement sur débit

Le rendement sur débit est calculé selon l'équation suivante :

$$\frac{uR_Q}{R_Q} = \sqrt{\left(\frac{uQ_s}{Q_s}\right)^2 + \left(\frac{uQ_e}{Q_e}\right)^2}$$

avec :  $R_Q$  : rendement sur débit

$Q_s$  : débit en sortie

$Q_e$  : débit en entrée

L'incertitude sur le débit est calculée à partir de l'incertitude de l'appareil de mesure ainsi que l'incertitude relative aux seuils (point 1 et 2, tableau 1). Lors du COPIL du 22 avril 2014 il a été décidé de prendre en compte seulement l'erreur de l'appareil de mesure. C'est l'erreur réelle de l'appareil (tel qu'elle est mesurée pour des fins de qualité) qui est prise en compte si ce dernier est connu, sinon c'est la valeur constructeur qui sera prise en compte.

### ○ Rendement sur flux

Le rendement sur flux est calculé selon l'équation suivante :

$$\frac{uR_F}{R_F} = \sqrt{\left(\frac{uF_s}{F_s}\right)^2 + \left(\frac{uF_e}{F_e}\right)^2}$$

avec :  $R_F$  : rendement sur flux

$F_s$  : flux en sortie

$F_e$  : flux en entrée

et

$$\frac{uF_s}{F_s} = \sqrt{\left(\frac{uC_s}{C_s}\right)^2 + \left(\frac{uQ_s}{Q_s}\right)^2} \quad \frac{uF_e}{F_e} = \sqrt{\left(\frac{uC_e}{C_e}\right)^2 + \left(\frac{uQ_e}{Q_e}\right)^2}$$

### ○ Expression des résultats

Les résultats sont exprimés sous la forme :

$$\text{Résultat} = \text{Valeur} \pm U(\text{Valeur})$$

où  $U(\text{valeur})$  est l'incertitude étendue correspondante à une probabilité de 95% que la valeur vraie soit contenue dans le domaine d'incertitude. La loi de distribution issue du calcul de propagation des incertitudes étant supposée normale, on retient  $U = k * u$  avec  $k=2$ .

## ■ Méthode de validation des données

- Validation

Un calcul de rendement ne peut être effectué que si le paramètre est effectivement détecté dans les résultats d'analyse. Avant tout calcul de rendement sur flux ou sur concentration, un test de validation est effectué : dans le cas où les concentrations en entrée et en sortie de la ZRV sont inférieures à la LQ : le paramètre étudié n'est pas quantifiable. Dans ce cas, il n'est pas possible de conclure sur l'influence de la ZRV. Aucun rendement (sur concentration ou sur flux ne peut être calculé) : **Le résultat sera noté « Paramètre non quantifiable » (NQ)**

*Les résultats non quantifiables « NQ » sont présentés dans les résultats d'étude détaillés mais sont exclus du traitement des données.*

La méthode de validation des données est la suivante :

Tableau 32 : Méthode de validation des résultats

Concentration en entrée	Concentration en sortie	Signification	Calcul de rendement ?
$C_e < LQ$	$C_s < LQ$	Paramètre non quantifier (NQ)	→ Pas de calcul de rendement
$C_e < LQ$	$C_s \geq LQ$	Paramètre quantifié	Calcul de rendement possible (concentration ou flux)
$C_e \geq LQ$	$C_s < LQ$	Paramètre quantifié	Calcul de rendement possible (concentration ou flux)
$C_e \geq LQ$	$C_s \geq LQ$	Paramètre quantifié	Calcul de rendement possible (concentration ou flux)

Avec :

$C_e$  = concentration en entrée

$C_s$  = concentration en sortie

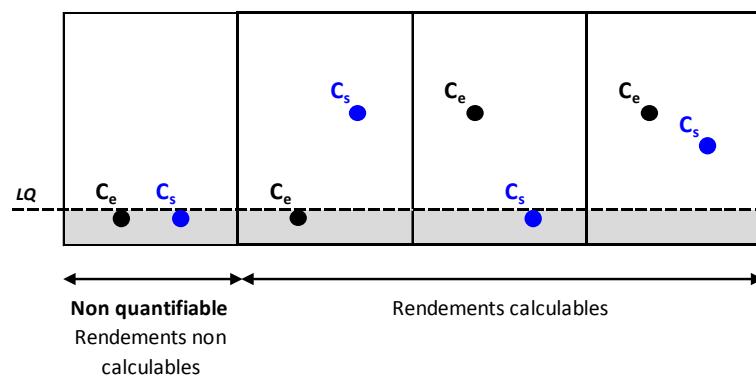


Figure 39 : Méthode de validation des données

- Consolidation

Lorsque les substances sont quantifiées, il est important de savoir si les rendements calculés sont significativement différents de 0, dans ce cas, l'écart entre la grandeur en entrée et en sortie ZRV est significatif. Il s'agit donc de vérifier si la valeur 0 est incluse ou non dans l'intervalle de confiance à 95 %. Si la valeur 0 n'est pas incluse dans l'intervalle de confiance, alors il y a 95 % de chance que le rendement soit significatif. Dans ce cas, il est possible de dire si l'impact de la ZRV est positif ou négatif sur la qualité de l'effluent. Dans le cas contraire, on ne peut pas dire quel est l'impact de la ZRV sur la qualité de l'effluent.

Deux types de résultat différents sont distingués dans l'analyse des données :

- **Rendement non significatif (NS)** : le paramètre est mesuré en entrée et/ou en sortie de la ZRV à une concentration supérieure à la LQ, mais la variation de concentration ou de flux entre l'entrée et la sortie est faible, et se situe dans l'intervalle d'incertitude. Le rendement est considéré proche de 0. Dans ce cas, on peut conclure que la ZRV n'a pas ou peu d'influence sur le paramètre.
- **Rendement significatif** : le paramètre est mesuré en entrée et/ou en sortie de la ZRV à une concentration supérieure à la LQ. L'écart entre la concentration ou le flux entre l'entrée et la sortie est significatif, au-delà de l'intervalle d'incertitude. Dans ce cas on peut conclure que la ZRV à un impact significativement positif ou négatif sur le paramètre.

Tableau 33 : Méthode de consolidation des rendements sur concentration

Concentration		
$C_e - U > C_s + U$	La concentration minorée en entrée est supérieure à la concentration majorée en sortie. La concentration en entrée est statiquement supérieure à la concentration en sortie.	→ Rendement significativement positif
$C_e + U < C_s - U$	La concentration majorée en entrée est inférieure à la concentration minorée en sortie. La concentration en entrée est statiquement inférieure à la concentration en sortie.	→ Rendement significativement négatif
<i>Dans les autres cas</i>	Les gammes d'incertitude des valeurs entrée et sortie s'entrecroisent. Les concentrations entrée et sortie peuvent être statistiquement identiques.	→ Rendement non significativement (proche de zéro)

Avec :

$C_e$  = concentration en entrée  $\pm U$  (incertitude étendue)

$C_s$  = concentration en sortie  $\pm U$  (incertitude étendue)

Tableau 34 : Méthode de consolidation des rendements sur flux

Flux		
$F_e - U > F_s + U$	Le flux minoré en entrée est supérieur au flux majoré en sortie. Le flux en entrée est statiquement supérieur au flux en sortie.	→ Rendement significativement positif
$F_e + U < F_s - U$	Le flux majoré en entrée est inférieur au flux minoré en sortie. Le flux en entrée est statiquement inférieur au flux en sortie.	→ Rendement significativement négatif
<i>Dans les autres cas</i>	Les gammes d'incertitude des valeurs entrée et sortie s'entrecroisent. Les flux entrée et sortie peuvent être statistiquement identiques.	→ Rendement non significativement (proche de zéro)

Avec :

$F_e$  = flux en entrée  $\pm U$  (incertitude étendue)

$F_s$  = flux en sortie  $\pm U$  (incertitude étendue)

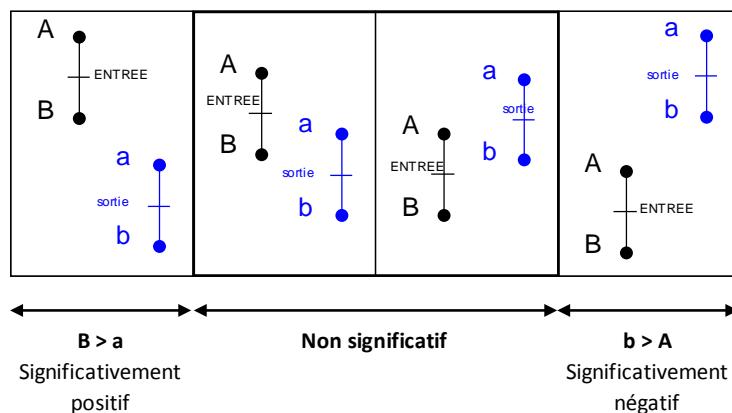


Figure 40 : Méthode de consolidation des rendements

$A$  = concentration (ou flux) en entrée + incertitude  
 $B$  = concentration (ou flux) en entrée - incertitude  
 $a$  = concentration (ou flux) en sortie + incertitude  
 $b$  = concentration (ou flux) en sortie - incertitude

## ■ Conclusion

Dans le cadre de l'étude pour le suivi des ZRV, les sources d'incertitudes sont nombreuses, allant de la méthode d'échantillonnage à la méthode d'analyse, les appareils utilisés et les facteurs extérieurs.

Lors du COPIL du 22 avril 2014 il a été décidé de ne pas prendre en compte un certain nombre de sources d'incertitude, ni la compensation pour l'erreur systématique sur la concentration.

Les calculs d'incertitudes et la significativité des résultats seront estimés et affichés pour tous les calculs de rendement (concentration, débit et flux).

**ANNEXE A5 : Méthodologie adaptée  
du test double anneau**

## ■ Méthode du double anneau

### ○ Principe de fonctionnement

#### ● Principe du double anneau standard

Source : *Contenu des études préalables à la réalisation d'une Zone de Rejet Végétalisée, Groupe de travail EPNAC, Mars 2013*

Le test double anneau est décrit dans la norme NFX 30-418 dont le domaine d'application mentionne : « Ces infiltromètres permettent de déterminer des coefficients de perméabilité compris entre  $1.10^{-5}$  m/s et  $1.10^{-8}$  m/s. L'essai [...] n'est pas applicable aux formations géologiques en place, susceptibles de se déstructurer par gonflement ou délitage lors d'un apport d'eau. Il peut s'appliquer aux études en génie civil, et en hydrogéologie en général (milieux poreux) ».

Le descriptif présenté ci-dessous n'est pas standardisé.

Le dispositif utilisé est appelé « infiltromètre à double anneau » ou « perméamètre double anneau ». Il est utilisé pour mesurer le coefficient de perméabilité à saturation du sol (détermination ponctuelle, *in situ*, de la perméabilité verticale du sol). Le test double anneau est effectué sur le sol en place sans réalisation d'une cavité.

Le dispositif est composé de 2 anneaux concentriques enfouis dans le sol d'une dizaine de centimètres et remplis d'eau. Le principe consiste à suivre l'évolution du niveau d'eau en fonction du temps dans l'anneau interne pour connaître la vitesse d'infiltration sur chaque pas de temps.

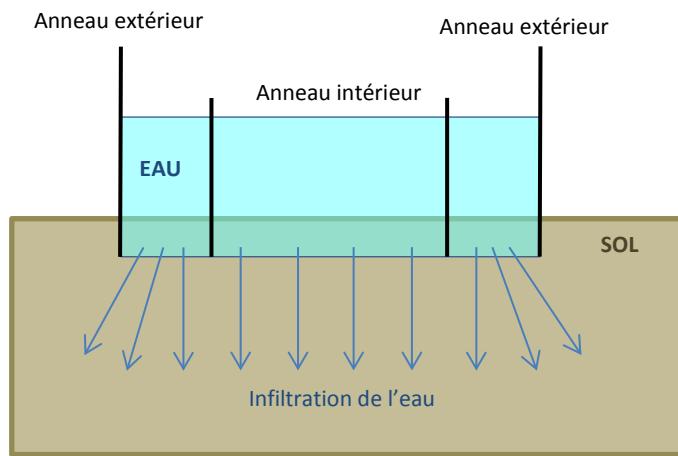


Figure 41 : Schéma de fonctionnement de l'infiltromètre double anneau

Sous l'anneau interne, on suppose que l'infiltration est verticale puisqu'elle est canalisée par les infiltrations d'eau de l'anneau externe. C'est pourquoi la perméabilité est calculée uniquement au niveau de l'anneau interne.

Durant toute la mesure, on veille à ce que les niveaux d'eau dans les 2 anneaux restent identiques afin que la différence de charge hydraulique ne crée pas de transfert horizontal entre les deux anneaux.

On note le volume ajouté dans l'anneau interne au cours du temps. Au bout d'un certain temps, un régime permanent s'installe et la vitesse d'infiltration devient constante. La valeur du coefficient de perméabilité est déduite à partir de la vitesse d'infiltration.



Figure 42 : Photographie de l'infiltromètre double anneau standard

### • Infiltromètre à double anneau adapté

Les essais de perméabilité dans les zones de rejet végétalisées sont différents des essais de perméabilité standards car le milieu étant en eau, les sols sont déjà saturés.  
 Comme pour une utilisation standard, le principe du double anneau adapté repose sur une différence de charge hydraulique entre le milieu extérieur et le dispositif double anneau.  
 Le double anneau adapté est enfoncé dans le sol à une dizaine de centimètres de profondeur, garantissant ainsi une étanchéité entre l'anneau extérieur et le sol.

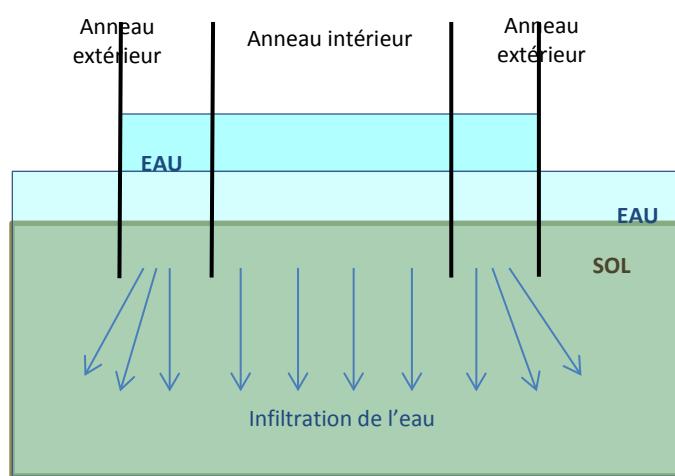


Figure 43 : Schéma de fonctionnement de l'infiltromètre double anneau adapté

La charge hydraulique plus importante dans le double anneau permet d'éviter l'infiltration de l'eau du milieu extérieur (du bassin, de la zone d'infiltration) dans le dispositif double anneau.  
 Le principe est alors le même que le principe du double anneau standard : la vitesse d'infiltration est mesurée dans l'anneau intérieur ce qui permet de connaître le coefficient de perméabilité à saturation.

## ○ Rappels hydrauliques

Source : *Expérimentation et mise au point d'une méthodologie de mesure in situ des faibles perméabilités, synthèse des travaux réalisés entre 1982-1983 et 1984, BRGM, Juin 1985.*

L'infiltration verticale de l'eau dans un sol non saturé est provoquée par l'existence d'un gradient de charge hydraulique qui prend en compte les effets combinés de la gravité et de la succion capillaire.

D'après la loi de Darcy, la vitesse de filtration  $u$  est :

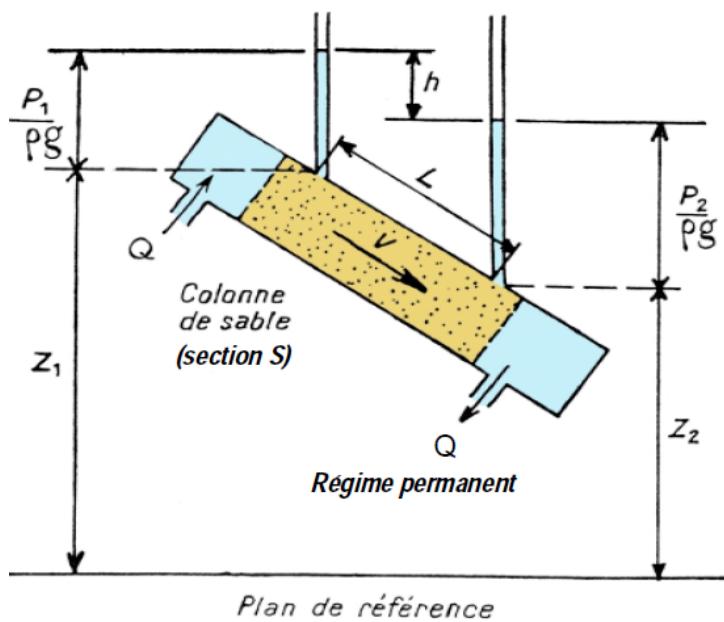
$$u = K \cdot i$$

avec :  $u$  la vitesse de filtration,

$K$  : coefficient de perméabilité dépendant du milieu poreux,

$i$  : gradient hydraulique.

La figure suivante permet de comprendre cette relation avec l'expérience de Darcy.



8/65

Figure 44 : Expérience de Darcy

- Perte de charge (ou différence de charge) :  $h = h_1 - h_2$
- Gradient hydraulique :  $i = h/L$

Concernant la mesure de perméabilité dans le double anneau, l'infiltration est verticale. Le schéma ci-dessous permet de comprendre l'expérience de Darcy sur un milieu vertical.

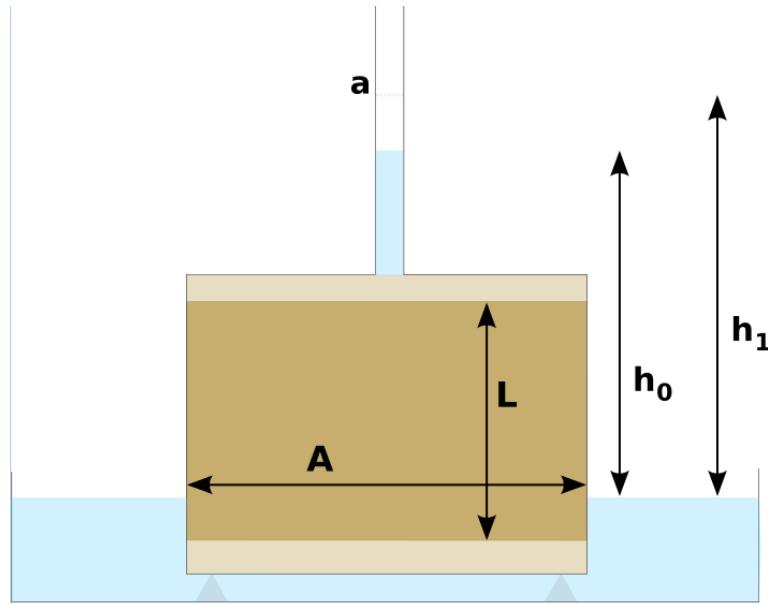


Figure 45 : Schéma de l'équipement utilisé par Darcy pour les essais à charge constante dans le calcul de la perméabilité  
(source : Wikipedia)

Avec :

- $h_1$  est la hauteur d'eau initiale,
- $h_0$  : hauteur d'eau finale

On a :

- Perte de charge (ou différence de charge) :  $h = h_1 - h_0$
- Gradient hydraulique :  $i = h/L$
- Coefficient de perméabilité  $k$  :  $u = Ki$

L'effet de la succion est défini par la teneur en eau volumique. Lorsque le sol est saturé, l'effet de succion s'annule : le gradient est alors uniquement gravitationnel et a une valeur unitaire (soit  $i = 1$ ).

De ce fait, d'après la loi de Darcy, la vitesse de filtration tend vers la valeur de la conductivité hydraulique à saturation :

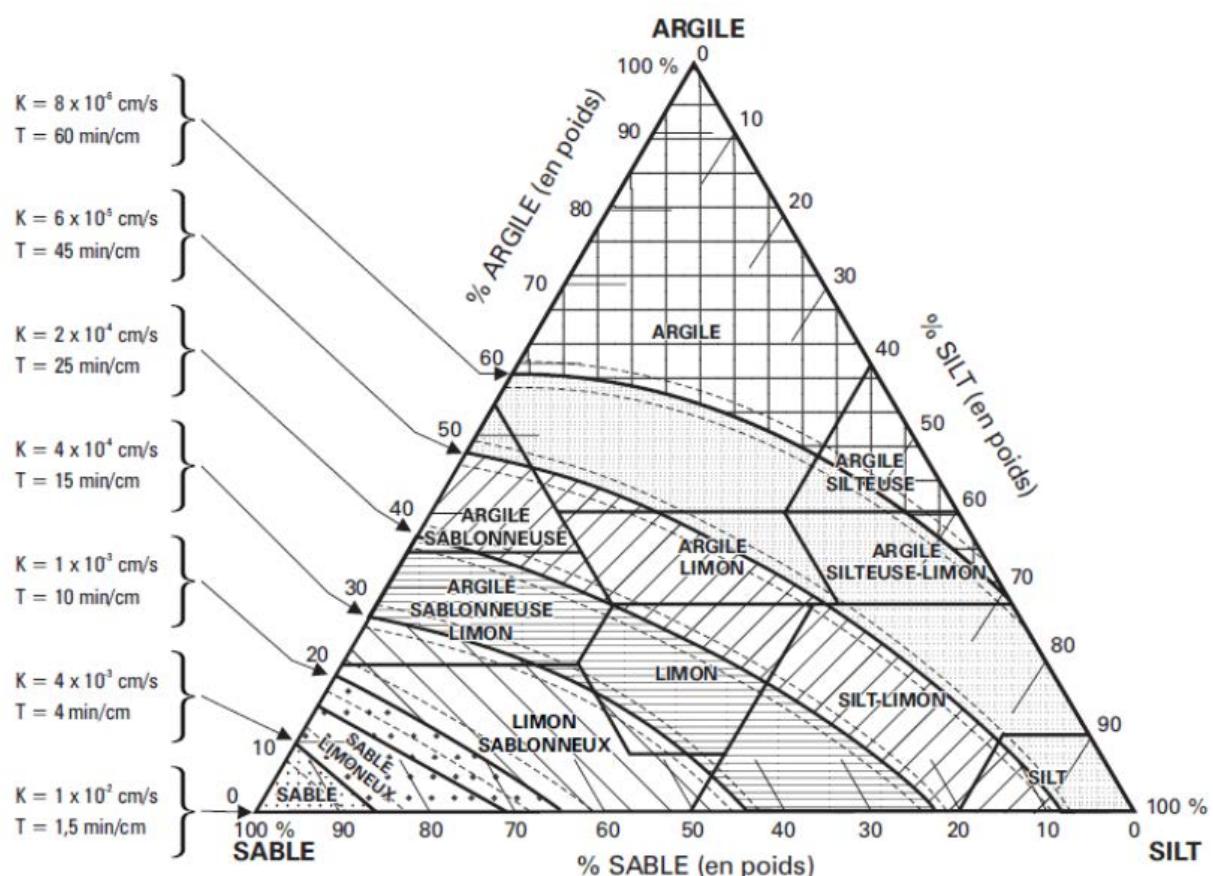
$$u = K$$

Ainsi, la mesure de la filtration permet de connaître la conductivité hydraulique à saturation.

## ○ Ordres de grandeur

Plusieurs sources permettent d'avoir un ordre de grandeur de la perméabilité des sols en fonctions de la texture.

	Coefficient de perméabilité m/s (échelle logarithmique)										
	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$
Propriétés relatives au drainage				Bon drainage						Faible drainage	Presque imperméable
Types de sol	Graviers propres		Sables propres, mélanges de sables et de graviers propres	Sables très fins, silts organiques et inorganiques, mélanges de sables, de silt et d'argile, tills glaciaires dépôts d'argile stratifiés, etc.						Sols « imperméables » comme les argiles homogènes sous la zone d'altération	



## ○ Limite de la méthode

Les mesures réalisées avec la méthode du double anneau peuvent être influencées par plusieurs facteurs.

Facteur	Double anneau standard Sols initialement non saturés	Double anneau adapté Sols initialement saturés et milieu en eau
Végétaux présents à la surface du sol	Présence de racines et de végétaux dans la couche superficielles de sols. Augmentation de la pénétration de l'eau dans les sols.	Présence de racines de plantes aquatiques au droit du test. Augmentation de la pénétration de l'eau dans les sols.
Sols compactés	Sols compactés.  Le passage d'engins de chantier peut compacter et déstructurer les sols.  Réduction de la pénétration de l'eau dans les sols.	Méthode de réalisation et couverture du fond de la ZRV non connue ou non vérifiée.  La présence de graviers, le niveau et l'homogénéité du compactage peuvent influencer sur la pénétration de l'eau dans le sol.
Taux d'humidité du sol	Sol sec : infiltration initiale forte puis (temps long) constante  Sol humide : infiltration initiale moyenne puis rapidement stable	Non concerné - sol saturé et en eau
Effet saisonnier	Le taux d'infiltration peut être influencé par les changements de saison : changement de température de l'eau, de sa viscosité, de la poussée de la végétation.	
Couches de sol	Homogénéité des couches de sol sous le texte d'infiltration	
Type de sol et présence d'eau souterraine	Variation de l'infiltration en fonction : - Du type de sol sous-jacent (sable, argile, graviers) - De la présence d'une nappe de subsurface	

## ○ Mise en œuvre de l'infiltromètre

Les caractéristiques de l'infiltromètre adapté et de l'infiltromètre standard sont les suivantes :

	Infiltromètre adapté	Infiltromètre standard
Charge d'eau :	en fonction du site ;	en fonction du site ;
Enfoncement dans le sol :	en fonction du site ;	en fonction du site ;
Diamètre intérieur :	91 mm ;	300 mm
Diamètre extérieur :	320 mm.	600 mm

Les diamètres utilisés pour le dispositif adapté sont proches des diamètres conseillés par l'étude réalisée par O.R.S.T.O.M. (*Mesures d'humidité et de perméabilité des sols dans les bassins représentatifs et expérimentaux : additifs aux protocoles et présentation des résultats, O.R.S.T.O.M. (ex IRD) Novembre 1983*).

Les photographies ci-dessous présentent un infiltromètre adapté et standard.

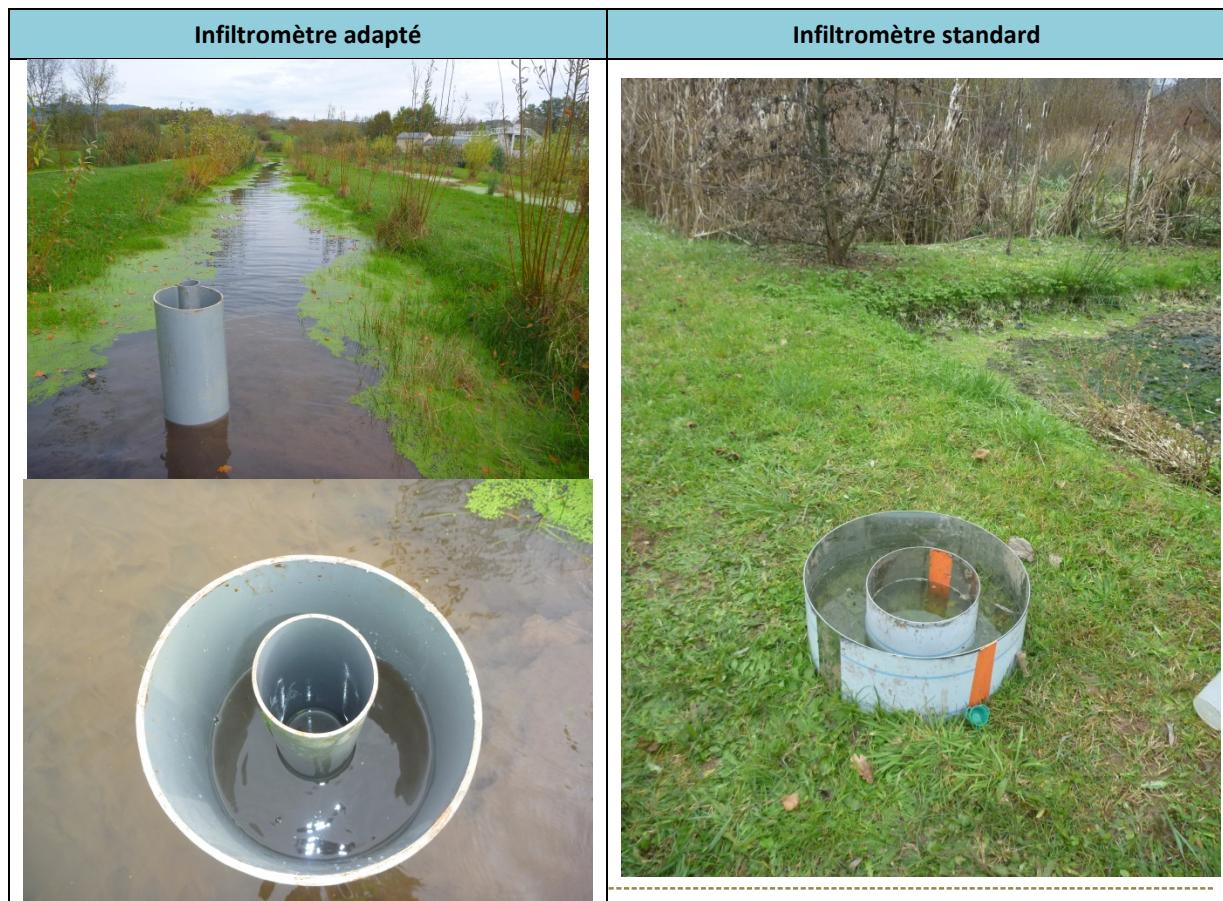


Figure 46 : Photographies de l'infiltromètre adapté et standard

### Méthodologie mise en œuvre

Après la mise en place de l'infiltromètre (adapté ou standard), celui-ci est rempli rapidement, en prenant soin de garder toujours le même niveau d'eau dans les anneaux interne et externe.

Un repère de début de mesure est pris avant chaque expérimentation :

- Double anneau standard : tracé directement sur l'anneau interne ;
- Double anneau adapté : mesuré à l'aide d'une sonde piézométrique.

A chaque fois que le niveau d'eau baisse sous le repère, on ajoute un volume d'eau de façon à conserver le niveau d'eau initialement noté au démarrage de l'essai. Le temps et le volume ajouté sont notés.

Le niveau dans l'anneau externe est également maintenu constant.

Afin de connaître la vitesse d'infiltration, les volumes rajoutés ont été convertis en hauteur d'eau (en fonction du diamètre de l'anneau interne adapté ou de l'anneau interne classique).

Les courbes présentées ci-dessous correspondent à l'évolution de la hauteur d'eau ajoutée cumulée en fonction du temps. La pente de ce graphique permet d'obtenir la vitesse d'infiltration, et ainsi de connaître la perméabilité du site.

Les graphiques suivants montrent les résultats théoriques attendus pour un milieu saturé et un milieu non saturé.

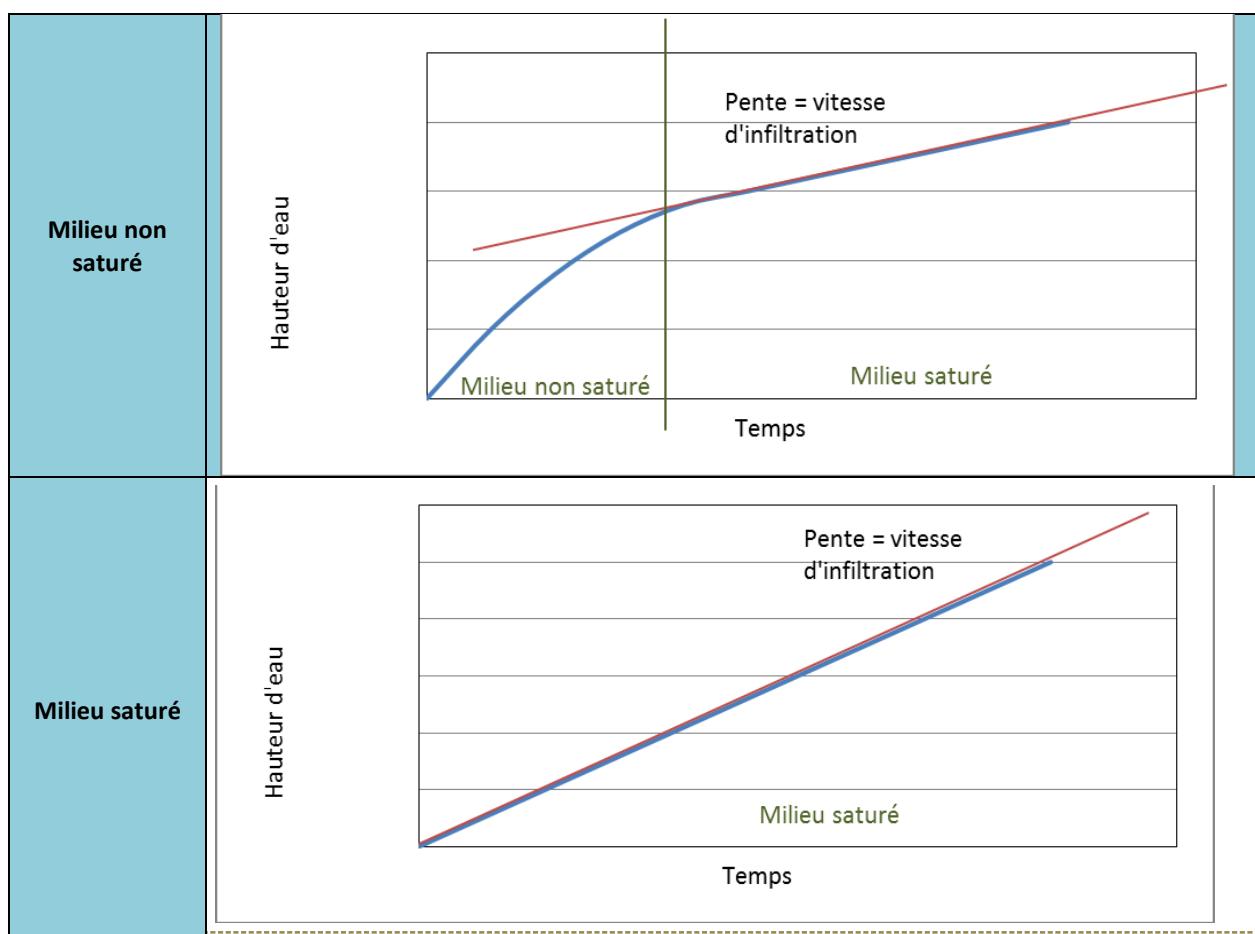


Figure 47 : Courbes théoriques pour un milieu non saturé en eau et un milieu saturé en eau

## ■ Comparaison des perméabilités mesurées et théoriques

Localisation	Type de sol		Perméabilité théorique (m/s)	Perméabilité moyenne mesurée (m/s)	
	Observation terrain	Données BSS		2013 (milieu concerné)	2014 (milieu concerné)
<b>Meyssac</b>	Argile	Argile	Entre $10^{-8}$ et $10^{-11}$ (argile)	$1,6 \times 10^{-7}$ (noues, fossé, bassin)	$8 \times 10^{-8}$ m/s (noues) < LQ (fossé, bassin)
<b>Montans</b>	Argile	Terre végétale	Entre $10^{-8}$ et $10^{-11}$ (argile)	$6,46 \times 10^{-8}$ (Moyenne bassins)	< LQ (bassins)
<b>Bascons</b>	Argile	Argile sableuse et bancs de calcaires gréseux	Entre $10^{-6}$ (argile sableuse) et $10^{-11}$ (argile superficielle)	$3,46 \times 10^{-7}$ (sol en place) < LQ (roubine)	$6 \times 10^{-8}$ m/s (roubine R2) < LQ (roubine R3)
<b>Caillac</b>	Sablo-argileux	Limons très argileux avec quelques graviers	Entre $10^{-5}$ (sable argileux) et $10^{-7}$ (limon argileux)	$5,27 \times 10^{-5}$ (Sol en place) < LQ (noues, bassins)	$1,4 \times 10^{-7}$ m/s (noue file B) < LQ (noue A, bassins)
<b>Saint Romain</b>	Argile	Alluvions	Entre $10^{-5}$ (alluvions sableuses) et $10^{-11}$ (argile)	$2,00 \times 10^{-5}$ (noue)	Non réalisé pour le moment

ANNEXE A6 :  
Protocole de curage des ZRV  
Études préliminaires, évacuation et  
analyses des boues curées

**Document basé sur :**

Protocole de prélèvement pour l'échantillonnage de boues dans les lits de séchage plantés de roseaux en vue de leur qualification agricole – Groupe EPNAC partenariat ONEMA / CEMAGREF – Octobre 2011

Norme ISO 5667-13 : Qualité de l'eau - Échantillonnage - Lignes directrices pour l'échantillonnage de boues – AFNOR – Juillet 2011

Protocole d'inventaires des Amphibiens et invertébrés sur la STEP de MONTANS - CEN Midi-Pyrénées – Mars 2014

## ■ Préambule

Les Zones de Rejet Végétalisées sont des dispositifs naturels situés en sortie de station d'épuration, visant à protéger les milieux récepteurs, auxquels on attribue divers rôles écologiques.

Parmi ces rôles, on compte la rétention mécanique des boues, sédiments, matières en suspension, etc. Ces matières s'accumulent dans les ouvrages, principalement les bassins, et conduisent peu à peu au comblement de la zone.

Cette accumulation peut avoir diverses origines :

- Apports de boues biologiques depuis la sortie de la STEP (dysfonctionnement, lessivage...),
- Apports de boues primaires depuis le déversoir d'orage, by-pass ou trop-plein de l'entrée STEP (eaux brutes),
- Formation d'humus par accumulation et décomposition de la végétation,
- Affaissement des berges des ouvrages, ravinement, vase (boues minérales).

***Dans la suite du document, cette accumulation de diverses matières sera désignée sous l'appellation générique de « boues ».***

Pour maintenir le bon fonctionnement de la ZRV et éviter le comblement total des ouvrages, un curage peut être nécessaire.

La ZRV étant un système complexe où se côtoient les phénomènes biologiques, écologiques, physico-chimiques et mécaniques, le curage d'une Zone de Rejet Végétalisée doit être étudié et encadré.

Le présent document expose les préconisations générales et particulières établies pour le curage de la ZRV de la commune de Montans (82), qui fait l'objet d'un suivi multi-domaines par :

- le SATESE 82 : suivi des performances physico-chimiques,
- le CEN Midi-Pyrénées (Conservatoire d'Espaces Naturels) : suivi écologique et biodiversité,
- le bureau d'études IRH pour l'Agence de l'Eau Adour-Garonne : suivi global performances et exploitation.

Ces recommandations sont transposables à d'autres ZRV aux aspects et fonctionnement similaires.

## ■ Détermination de l'indice biodiversité

Si le curage s'avère nécessaire pour préserver le fonctionnement hydraulique de la ZRV, il peut être à l'origine d'une destruction des habitats naturels (vase, végétaux...).

Afin d'évaluer l'impact de la ZRV sur l'écologie et la biodiversité du site, un inventaire des habitats naturels et de la faune des amphibiens et invertébrés sera réalisé avant curage.

Ces résultats pourront être comparés avec un deuxième inventaire réalisé après curage.

Sur le site de Montans (81), c'est le Conservatoire des Espaces Naturels de Midi-Pyrénées, qui suit la biodiversité du site depuis sa mise en route, qui réalisera l'inventaire.

Le protocole proposé est présenté ci-après.

### **Protocole d'inventaires des Amphibiens et invertébrés sur la STEP de MONTANS - Conservatoire des Espaces Naturels de Midi-Pyrénées – Mars 2014**

#### **Les habitats et la flore**

La caractérisation des habitats naturels est basée sur des relevés floristiques ou phytosociologiques sur des placettes de quelques m<sup>2</sup> dans un habitat homogène, croisés avec une analyse des conditions stationnelles (niveau d'hygrométrie, d'ensoleillement, hauteur de la végétation, recouvrement,...). En effet, les cortèges d'espèces ou associations végétales permettent de déterminer un habitat par rapport à un autre, grâce aux besoins écologiques connus des espèces végétales.

Les différents habitats naturels sont caractérisés :

- avec la nomenclature Code Corine Biotope, utilisée au niveau national ;
- avec un syntaxon phytosociologique qui caractérise finement l'habitat ;
- avec un code EUR. 15, de la Directive Habitat, s'il présente un enjeu européen ;

Ils peuvent enfin être mentionnés comme déterminants pour les ZNIEFF de la région Midi-Pyrénées.

Enfin, les habitats naturels ainsi caractérisés sont cartographiés au sein de la zone d'étude.

Pour ce site un état des lieux de 2009 et un suivi de 2011 existent déjà.

L'inventaire floristique est effectué par le biais des relevés floristiques et phytosociologiques mentionnés ci-dessus et complétés de manière aléatoire sur l'ensemble de la zone d'étude pour noter le maximum de taxons. Plusieurs passages sont effectués (2 à minima, au printemps et en été).

Les différents statuts des espèces sont mentionnés : Protection nationale, Liste rouge, ZNIEFF, ...

#### **Les amphibiens**

Ils représentent un des enjeux majeurs sur le site, vu le contexte humide.

Les inventaires se font précocement en saison, pendant la période de reproduction qui s'échelonne de février à fin avril pour la majorité des espèces.

Les suivis se font de nuit préférentiellement ; les observations se font à la lampe torche dans les zones d'eau et à l'écoute des chants. Des observations en journées peuvent compléter les inventaires. On s'appliquera selon la saison à rechercher les adultes, mais aussi les pontes ou les larves.

#### **Les odonates**

Les libellules représentent l'autre enjeu majeur de ce type de zones humides. Les inventaires sont à réaliser de jour entre juin et aout. Les espèces sont déterminées à vue ou capturées temporairement à l'aide d'une épuisette, déterminées, puis relâchées in situ.

Des prélèvements d'exuvies peuvent largement compléter l'inventaire, par des analyses en laboratoires, pour les espèces qui se reproduisent sur place mais qui se déplacent beaucoup.

### Les rhopalocères

Les inventaires se font sur plusieurs passages entre mai et aout, pour contacter un maximum d'espèces. Les espèces sont déterminées à vue ou capturées temporairement à l'aide d'une épuisette, déterminées, puis relâchées in situ. Les espèces complexes peuvent être prélevées pour examen ex situ en laboratoire. Sur des sites restreints (comme Montans) l'inventaire est aléatoire, les transects sont inutiles.

### Les orthoptères

Les inventaires se font de préférence en automne (aout-septembre), pour contacter un maximum d'espèces adultes et donc déterminables. Les espèces sont déterminées à vue, au chant ou capturées temporairement à l'aide d'une épuisette, déterminées, puis relâchées in situ. Les espèces complexes peuvent être prélevées pour examen ex situ en laboratoire.

Sur des sites restreints (comme Montans) l'inventaire est aléatoire, les transects sont inutiles. L'intérêt pour ces espèces est très limité sur le site, vu la taille et les habitats présents : les recherches seront peu ciblées sur ce groupe.

### Les araignées

Ce dernier groupe très diversifié, réagit assez bien à la nature des milieux. Des cortèges peuvent très vite de dessiner avec la présence de quelques espèces remarquables, déjà mises en avant lors des dernières études (Déjean & Néri, 2009 ; Déjean et Enjalbal, 2011).

Les techniques d'échantillonnage sont communes aux autres groupes d'invertébrés :

- fauchage de la strate herbacée ;
- battage de la strate arbustive ;
- observations à vue ;

Une dernière technique est à citer pour ce groupe ; l'aspirateur thermique qui peut accéder à de nombreux strates s'habitats variés et être très rentable en terme de quantité d'individus prélevés.

La majorité des échantillons est prélevée pour analyse ex situ en laboratoire, vu la difficulté de détermination des araignées (basée sur l'observation des organes génitaux).

**Pour la faune au sens large, les espèces à statut sont mentionnées systématiquement : Protection nationale, directives divers, listes rouges, listes ZNIEFF, dire d'expert (pour les araignées en autre).**

## ■ Curage

### ○ Principes généraux

#### ● Études préliminaires

Une estimation préalable du volume de boues à évacuer est nécessaire afin de :

- adapter la taille de l'engin de curage,
- anticiper les contraintes de stockage et d'évacuation des boues,
- calculer le nombre d'échantillons à prélever pour l'analyse des boues.

Les conditions d'accès au site ET aux ouvrages devront être vérifiées préalablement.

L'intervention peut se faire depuis l'intérieur ou l'extérieur du site. Au besoin une partie des clôtures peut être déposée le temps de l'intervention, pour faciliter l'accès aux ouvrages.

**Attention : Les berges des ZRV peuvent être étroites, boueuses, avec une forte pente. La végétation dense peut fausser l'estimation des distances. Le choix de l'engin de curage et de l'accès doit se faire en considérant ces paramètres.**

## ● Période d'intervention

Le curage se fera à l'automne ou au printemps, avant ou après les phases de reproduction et de croissance de la faune et la flore. Si la zone n'est alimentée qu'une partie de l'année, le curage se fera pendant la période de repos de la ZRV.

Lorsque la ZRV est composée de différents ouvrages ou de plusieurs secteurs, le curage sera progressif : pour ne pas détruire complètement les écosystèmes en place, un seul ouvrage/secteur sera curé par an, si besoin.

Dans le cas de Montans, et conformément aux recommandations du CEN Midi-Pyrénées, le curage se décomposera comme suit :

- Avril 2014 : Curage du bassin 1 (bassin de rétention),
- Automne ou printemps 2015 : Curage du bassin 2 (bassins en cascade).

## ● Détails de l'intervention

**Attention : Ce protocole n'est pas applicable si le fond des ouvrages est tapissé de matériaux rapportés (galets, graviers...)**

Sauf cas particulier, l'objectif du curage et de retirer les végétaux et la boue des bassins jusqu'à atteindre **la profondeur d'origine** (terrain naturel).

Le curage sera réalisé à l'aide d'un engin de chantier de type mini-pelle. Les boues curées seront **stockées sur place** (voir paragraphe 0)

Les berges peuvent également être nettoyées et reprofilées au besoin. De préférence, la végétation des berges types saules, carex, joncs, sera préservée.

Pour protéger le milieu récepteur, il faudra veiller à "**protéger**" **la sortie de la ZRV** de tout départ de matière par la mise en place de paille au niveau de la canalisation ou du regard de sortie.

Lors de l'intervention, le volume de boues évacuées sera déterminé grossièrement (nombre de godets).

*Remarque :* L'IRSTEA recommande de curer progressivement la zone, afin d'analyser distinctement les différentes strates de sédiments (horizons). Cette recommandation n'est applicable que dans le cas de boues suffisamment minéralisées sur une épaisseur significative.

Dans le cas de dépôts vaseux liquides, cette recommandation est difficilement applicable.

### ○ Stockage et évacuation des boues

Dans l'intérêt écologique du site, les éléments retirés devront être **stockés à proximité du site** afin de permettre un retour au milieu de la faune.

La durée de stockage peut varier de **quelques jours à quelques semaines**. Elle sera confirmée par la détermination préalable de l'indice biodiversité du site.

Les boues seront déposées en tas, à même le sol, sur une zone plane afin d'éviter les ruissellements.

Le tas de boues sera ensuite repris et évacué vers une filière de traitement adaptée, selon sa quantité et sa qualité (déchet, valorisation agricole...).

## ■ Prélèvement et analyse des boues

### ○ Généralités

Les ZRV étant des ouvrages relativement récents, aucun protocole normalisé de prélèvement de boues dans ces ouvrages n'existe.

La méthodologie proposée ci-après est basée sur :

- le « *Protocole de prélèvement pour l'échantillonnage des boues dans les lits de séchage plantés de roseaux en vue de leur qualification agricole* » publié en 2011 par l'ONEMA et le CEMAGREF (IRSTEA) dans le cadre du groupe de travail EPNAC ;
- la norme NF EN 5667-13 (Qualité de l'eau – Échantillonnage) concernant les « *Lignes directrices pour l'échantillonnage de boues* », de juillet 2011 ;
- l'arrêté du 8 janvier 1998 fixant les « *prescriptions techniques applicables aux épandages de boues issues du traitement des eaux usées sur les sols agricoles* » ;
- le « *Mode opératoire spécifique pour le prélèvement de boues liquides ou solides* » de la base qualité du groupe IRH Environnement.

### ● Procédure à suivre

La difficulté du prélèvement de boues dans un milieu naturel tel qu'une ZRV est d'assurer la représentativité de l'échantillon.

Autant que possible, la procédure de prélèvement doit suivre les différentes étapes suivantes :

- Déterminer le nombre d'échantillons moyens à analyser,
- Déterminer le nombre de prélèvements nécessaires pour obtenir des échantillons moyens représentatifs,
- Repérer les emplacements de prélèvement adaptés,
- Déterminer le mode de prélèvement et le matériel adapté,
- Réaliser les prélèvements ponctuels,
- Confectionner les échantillons moyens représentatifs,
- Stocker, conserver et envoyer les échantillons pour analyse.

### ● Conditions météorologiques

Gel, pluie et sécheresse peuvent modifier superficiellement ou profondément de manière durable ou temporaire les matières à prélever.

Sauf objectif d'étude particulier, l'échantillonnage des boues se fera par temps sec, précédé d'une période de plusieurs jours sans orages ni fortes pluies.

### ● Avertissement de sécurité

Le prélèvement de boues en milieu naturel comporte plusieurs risques qui nécessitent d'adapter les équipements et les règles de sécurité :

- chute, dérapage, glissade ;
- risque d'embourrage et d'immersion ;
- risque aggravé d'infection (microbiologique et parasitologique).

En conséquence, une hygiène stricte, la protection personnelle et la surveillance par un tiers se révèlent indispensables.

Il est conseillé de ne pas s'aventurer trop loin dans les ouvrages (pas plus de 2 m du bord).

## ○ Représentativité des échantillons

### ● Variables

La qualité des boues stockées dans un ouvrage peut être variable :

- selon un profil vertical, la boue a des âges et des degrés de transformation différents (les couches profondes accumulées de longue date ont subi des transformations amplifiées par la présence des rhizomes et racines des végétaux),
- selon un niveau horizontal des variations de hauteur et de qualité des boues apparaissent car la distribution dans les ouvrages, le niveau de boues, la morphologie, la densité de la végétation, ne sont pas homogènes.

Afin de bien prendre en compte la spécificité du traitement, le guide EPNAC pour l'échantillonnage des boues dans les lits de séchage plantés de roseaux recommande d'identifier les différents horizons ou strates observables dans la couche de boues afin que chaque carottage soit représentatif du profil vertical observé.

Dans le cas des ZRV, les boues présentent parfois une siccité très faible et une accumulation insuffisante pour distinguer ces différents horizons.

Dans le cas d'un prélèvement dans un tas de boues curées, ces recommandations ne sont pas applicables.

### ● Choix du mode de prélèvement

Le plan et la méthode d'échantillonnage seront choisis de façon à constituer un échantillon représentatif, compatible avec les besoins analytiques et/ou du niveau de diagnostic recherché.

Dans le cas des ZRV, l'échantillonnage se fait à partir d'un stockage statique, soit en place, soit stocké après curage.

- Le volume stocké est réputé : homogène, stratifié ou hétérogène (aléatoirement)
- Les boues peuvent être : liquides, pâteuses ou solides

Les échantillons seront du type ponctuel aléatoire, série de ponctuels programmés ou composites (échantillon moyen).

**Afin d'assurer la meilleure représentativité de la qualité des boues, la réalisation d'échantillons composites est privilégiées. Les prélèvements de base seront de types :**

- ponctuels programmés dans les boues en place dans les bassins, avant curage.
- ponctuels aléatoire dans un tas de boues stockées après curage.

Le matériel de prélèvement sera sélectionné en fonction de la nature des boues et des conditions d'accès.

#### a. Prélèvements de boues dans les ouvrages

Autant que possible, la réalisation des prélèvements de base doit se faire en tenant compte de la répartition spatiale des dépôts.

Le prélèvement doit se faire sur toute la hauteur d'accumulation.

Lorsque l'on prélève, il est important de s'arrêter de carotter quand on sent le contact du terrain naturel, (le prélèvement par inadvertance de terre naturelle peut fausser les analyses, notamment sur le paramètre matière sèche volatile).

#### b. Prélèvement de boues en tas

La contrainte est d'éviter les risques de mélange entre les boues et le terrain naturel raclé en fin de curage.

Autant que possible, le fond du bassin ne devra pas être raclé avant la réalisation d'un prélèvement dans les boues déjà évacuées, ou les derniers centimètres de boues curées devront être stockés dans un tas différencié.

L'échantillonnage sera fait de manière aléatoire dans le tas, en prenant soin de prélever des échantillons dans toute l'épaisseur du tas de stockage, ce qui permet de préparer un échantillon composite significatif.

## ○ Nombre d'échantillons et de prélèvements

### ● Nombre d'échantillons par site

Le protocole EPNAC pour l'échantillonnage des boues dans les lits de séchages plantés de roseaux prévoit de déterminer le nombre d'échantillons à réaliser en se basant sur les tableaux 5a et 5b de l'annexe IV de l'arrêté du 8 janvier 1998 fixant le nombre minimum d'analyses à effectuer en fonction de leur nature et du tonnage qu'il est prévu d'épandre.

Mais les fréquences d'analyse indiquées dans ces tableaux paraissent plus adaptées à des procédés produisant des boues de manière régulière qu'à des systèmes permettant un stockage de longue durée tels que les ZRV.

Toutefois, dans le cas où la filière choisie pour l'évacuation des boues curées dans les ZRV est l'épandage, il n'est pas possible de déroger aux prescriptions nationales en ce qui concerne les fréquences d'analyses nécessaires à la caractérisation des boues (arrêté du 8 janvier 1998).

**Dans le cas d'un simple diagnostic de la qualité des boues de la ZRV, le nombre d'échantillons dépendra des informations recherchées (analyse ponctuelle, évolution de la qualité selon la distance, le temps, la profondeur, le type d'ouvrage, etc...).**

Pour évaluer la qualité du stock de boues et ses variations (temporelle et spatiale) dans une ZRV, on peut recommander la réalisation des différents échantillonnages suivants, en fonction des objectifs de l'étude. Ces objectifs peuvent se recouper ou se combiner, et leur liste n'est pas exhaustive.

But de l'analyse		Échantillonnage	Nbre
Evaluer les variations spatiales du stock de boues	Evaluer le rôle de chaque ouvrage	un échantillon moyen par ouvrages ou secteurs de la zone	≥2
	Evaluer l'impact global de la zone	un échantillon moyen en amont et un en aval de la zone	2
	Evaluer l'évolution des boues en fonction de leur âge	un échantillon moyen par horizons marqués (variation horizontale de la qualité des boues)	≥2
	Evaluer les différentes qualités de boues entrantes, appréhender leur mélange	un échantillon moyen par arrivées distinctes	≥2
Evaluer les variations temporelles du stock de boues	Evaluer l'évolution annuelle	un échantillon moyen par an, toujours à la même époque	1/ans
	Evaluer l'évolution saisonnière	un échantillon moyen par saison	2 à 4/ans
	Evaluer l'impact d'une modification du milieu	un échantillon moyen avant et après modification du fonctionnement du site (ex : curage, arrêt saisonnier)	2/ans
Evaluer la qualité globale du stock de boues	En vue d'un diagnostic ponctuel	Un échantillon moyen par site ou par ouvrage	≥1
	En vue d'épandage	Suivre les recommandations de l'annexe IV de l'arrêté du 8 janvier 1998	Fonction du tonnage

Tableau 35 : Nombre d'échantillon à réaliser selon l'objectif de l'analyse des boues dans les ZRV

### • Nombre de prélèvements par échantillon

La norme NF EN ISO 5667-13 relative à l'échantillonnage de boues provenant d'installations de traitement de l'eau et des eaux usées, pour l'échantillonnage de boues à partir de tas et de stockages, donne des indications sur le nombre de prélèvements (carottages C) qu'il convient de réaliser pour obtenir un échantillon moyen représentatif.

$$C = \frac{\sqrt{V}}{2}$$

Avec :

V : volume en m<sup>3</sup> de boues brutes à échantillonner ;

C : nombre carottages qui sera arrondi au nombre entier le plus proche entre 4 et 30 .

### ○ Localisation des points de prélèvements

#### c. Prélèvement de boues dans les ouvrages

Pour choisir l'endroit où effectuer le carottage, il convient de prendre en compte la position :

- du ou des points d'alimentation,
- des bords des berges,
- des types d'écoulements,
- de la morphologie des ouvrages (bassin, fossé rectiligne, méandre...),
- de la densité et du type de la colonisation végétale.

Afin de se placer dans des conditions représentatives, il est recommandé de ne pas prélever de boues à moins d'un mètre des berges et des points d'alimentation, et de **varier au maximum les zones de prélèvement sur un secteur donné**.

Après avoir déterminé les emplacements, on reporte le nombre et la position des points de prélèvement sur un schéma de la zone en y consignant aussi les points singuliers évoqués ci-dessus qui fourniront une aide précieuse pour interpréter les résultats.

#### d. **Prélèvement de boues en tas**

L'échantillonnage sera fait de manière aléatoire dans le tas, en prenant soin de prélever des échantillons dans toute l'épaisseur du tas de stockage, ce qui permet de préparer un échantillon composite significatif.

### ○ **Réalisation des prélèvements**

#### e. **Matériel nécessaire**

En général, le matériel d'échantillonnage de boues conçu et fabriqué le plus simplement possible s'avère le plus pratique.

Le choix du matériel sera guidé :

- par les conditions d'accès et l'état des installations
- par la texture du produit à échantillonner
- par la composition chimique
- par la nature des déterminations analytiques à réaliser

Le matériel potentiellement utilisable est le suivant :

- flacon verre simple à col large
- seau - louche - godet lesté
- tarière manuelle
- préleveur à messager
- préleveur type carottier
- préleveur d'eau usée (boue fluide)
- pompe à vide

#### f. **Volume des prélèvements**

Pour garantir la justesse, le volume d'échantillon primaire sera parfois important (de par la nature des produits); il sera impératif de réduire ce volume à 1 ou 2L avant transmission au laboratoire, après constitution d'un échantillon moyen.

### ○ **Constitution d'un échantillon moyen**

Le point le plus difficile est de bien homogénéiser l'échantillon moyen à partir des différents prélèvements réalisés.

Pour l'homogénéisation, le protocole EPNAC pour l'échantillonnage des boues dans les lits de séchages plantés de roseaux est applicable :

- Regrouper les prélèvements ponctuels dans le même sac plastique épais ou seau.
- S'assurer que des morceaux de média (sable, graviers) ne sont pas présents.
- Enlever les morceaux de végétaux / rhizomes les plus grands (de l'ordre du centimètre en diamètre). Il est inutile de chercher à enlever les vers.
- Mélanger l'échantillon à travers le sac en appuyant avec les poings (éventuellement les pieds), ou dans le seau à l'aide d'une grande spatule solide.
- Porter une attention particulière aux « blocs » pouvant provenir des horizons plus secs qui doivent être morcelés pour bien se mélanger aux autres horizons.
- Faire attention aux volumes morts de boue (logés au fond du seau, dans les coins des sacs) et bien les mélanger.
- Reprendre l'opération de mélange et répéter au moins trois fois ces trois dernières étapes.

### **Quand la boue est homogénéisée, on obtient l'échantillon moyen.**

Un échantillon d'1kg peut suffire pour réaliser toutes les analyses demandées. Cela est à vérifier avec le laboratoire d'analyses impliqué.

## **○ Conservation et envoi des échantillons**

L'identification des échantillons sera précise pour éviter toute confusion :

- origine du prélèvement (commune)
- localisation précise (ouvrage, localisation spatiale)
- date et heure

Les flacons seront remplis d'environ 1kg de boues, en veillant à ne pas les garnir entièrement (risque de fermentation).

Les récipients de conservation seront sélectionnés en fonction de la nature physicochimique des matières boueuses, de paramètres à déterminer et des risques de montée en pression liés aux dégagements gazeux.

**D'une manière générale le conditionnement dans des flacons à large ouverture en matière inerte (en polypropylène ou en verre) est recommandé.**

Les échantillons seront conservés au froid dans une glacière agrémentée de plaque eutectique (à environ 5°C ± 3°C).

Les délais d'acheminement après prélèvement devront être aussi réduits que possibles (envoi dans les 24h).

## **○ Paramètres à analyser**

Dans le cadre du suivi expérimental du fonctionnement des Zones de Rejet Végétalisées, la qualité des boues stockées est un paramètre important.

Les objectifs sont notamment de :

- réaliser un bilan-diagnostic de pollution,
- déterminer les éléments piégés dans les boues, pour confirmer les phénomènes en jeu sur la ZRV,
- comparer la qualité des boues de la ZRV aux boues de la STEP,
- confirmer la filière d'évacuation adaptée (mise en décharge, valorisation agricole, ...)

Les paramètres physico-chimiques qui seront analysés sont les suivants :

- Matière sèche, matière sèche volatile (= matière organique),
- Métaux,
- HAP, PCB,
- Sélection de substances émergentes.

Le détail des molécules analysées, validées par l'Agence de l'Eau dans le cadre de l'étude, est donné dans le tableau ci-après.

Famille	Molécules	Unités	Méthode	LQ
Substances émergentes	Atrazine	µg/kgMS	CMO_MT06	20
	simazine	µg/kgMS	CMO_MT06	20
	diuron	µg/kgMS	CMO_MT06	20
	isoproturon	µg/kgMS	CMO_MT06	50
Alky-phénols	4-nonylphénol	µg/kgMS	CMO_MT06	40
	4-ter octylphénol	µg/kgMS	CMO_MT06	40
	4 ter butylphénol	µg/kgMS	CMO_MT06	40
HAP	Napthaléne	µg/kgMS	CMO_MT06	25
	phénanthrène	µg/kgMS	CMO_MT06	50
	anthracéne	µg/kgMS	CMO_MT06	10
	acénaphthylène	µg/kgMS	CMO_MT06	20
	acénaphtène	µg/kgMS	CMO_MT06	10
	fluorène	µg/kgMS	CMO_MT06	40
	fluoranthène	µg/kgMS	CMO_MT06	40
	pyrène	µg/kgMS	CMO_MT06	40
	benzo(a)anthracène	µg/kgMS	CMO_MT06	30
	chrysène	µg/kgMS	CMO_MT06	10
	benzo(b+j+k)fluoranthène	µg/kgMS	CMO_MT06	10
	benzo(a)pyrène	µg/kgMS	CMO_MT06	10
	indéno(c-d)pyrène	µg/kgMS	CMO_MT06	10
	dibenzo(a,h)anthracène	µg/kgMS	CMO_MT06	10
	benzo(ghi)pérylène	µg/kgMS	CMO_MT06	10
Métaux	Arsenic et ses composés	µg/kgMS	CMM_MT15 et MT033	0.2
	Cadmium et ses composés	µg/kgMS	CMM_MT15 et MT033	0.2
	Chrome et ses composés	µg/kgMS	CMM_MT15 et MT033	0.2
	Cuivre et ses composés	µg/kgMS	CMM_MT15 et MT033	0.2
	Mercure et ses composés	µg/kgMS	CMM_MT15 et MT034	0.02
	Nickel et ses composés	µg/kgMS	CMM_MT15 et MT033	0.2
	Plomb et ses composés	µg/kgMS	CMM_MT15 et MT033	0.2
	Zinc et ses composés	µg/kgMS	CMM_MT15 et MT022	0.4
PCB	Equivalent Arochlor 1016	µg/kgMS	CMO_MT06	50
	Equivalent Arochlor 1232	µg/kgMS	CMO_MT06	50
	Equivalent Arochlor 1242	µg/kgMS	CMO_MT06	50
	Equivalent Arochlor 1248	µg/kgMS	CMO_MT06	50
	Equivalent Arochlor 1254	µg/kgMS	CMO_MT06	50
	Equivalent Arochlor 1260	µg/kgMS	CMO_MT06	50

Tableau 36 : Substances analysées dans les boues dans le cadre du suivi expérimental du fonctionnement des ZRV

ANNEXE PARTIE B :  
RÉSULTAT DES SUIVIS

**ANNEXE B1 : Tableau récapitatif  
des suivis effectués**

## Année 2013

		Dates d'interventions		Pluviométrie		Eaux de surface ZRV			Eaux infiltrées	Milieu récepteur eaux de surface			Nappe	Boues		Sol	Faune/ Flore	Intensité lumineuse
		Suivi ZRV IRH	Interventions complémentaires	Avant (à 7 jours)	Pendant	Mesure de débit entrée sortie	Suivi en continu paramètres physico-chimiques entrée sortie	Prélèvements 2x24h +Analyses physico-chimiques et bactério	Prélèvements ponctuels +Analyses physico-chimiques et bactério	Débit Amont/ Aval	Prélèvements ponctuels + Analyses physico-chimiques et bactério	Indice IBD	Prélèvements ponctuels + Analyses physico-chimique et bactério	Mesure de hauteur	Prélèvements ponctuels et analyse ETM, HAB, PCB	Mesure du coef. de perméabilité	Inventaire	Suivi variation flux de photons actifs pour la photosynthèse
MEYSSAC (19)	CAMPAGNE 1	Du 18 au 20 juin 2013	/	Précipitations importantes	> 30 mm	X	X	X	Sans objet	-	-	-	Sans objet	X	X	-	X	-
	CAMPAGNE 2	Du 05 au 07 août 2013	26 août : mesure indice IBD	Temps sec	8mm	X	X	X	Sans objet	X	X	X	Sans objet	X	-	-	X	X
	CAMPAGNE 3	Du 18 au 20 novembre 2013	/	5 à 10 mm	2 mm	X	X	X	Sans objet	X	X	-	Sans objet	X	-	X	-	X
CAILLAC (46)	CAMPAGNE 1	Du 11 au 13 juin 2013	/	Précipitations importantes	Temps sec	X	X	X	-	Sans objet			-	-	-	-	X	-
	CAMPAGNE 2	Du 12 au 14 août 2013	/	Temps sec	Temps sec	X	X	X	-	Sans objet			-	-	-	-	X	X
	CAMPAGNE 3	Du 23 au 25 octobre 2013	28 au 29 oct. : pose des piézomètres 05 au 06 déc. : Prélèvement nappe + pose des lysimètres + test perméabilité sol	4mm la veille des mesures	Temps sec	X	X	X	-	Sans objet			X	X	-	X	-	X
MONTANS (81)	CAMPAGNE 1	Du 17 au 19 juin 2013	/	Précipitations importantes	12 mm	X	X	X	Sans objet	-	-	-	Sans objet	X	X	-	X	-
	CAMPAGNE 2	Du 6 au 8 août 2013	26 août: mesure indice IBD	Temps sec	37 mm	X	X	X	Sans objet	X	X	X	Sans objet	X	-	-	X	X
	CAMPAGNE 3	Du 20 au 22 novembre 2013	/	11 mm	12 mm	X	X	X	Sans objet	X	X	-	Sans objet	X	-	X	-	X
BASCONS (40)	CAMPAGNE 1	Du 24 au 27 juin 2013	24 juin : pose des lysimètres	Temps sec	Temps sec	X	X	X	X	Sans objet			-	X	X	-	X	-
	CAMPAGNE 2	Du 20 au 22 août 2013	/	Temps sec	Temps sec	-	X	X	X	Sans objet			-	X	-	-	X	X
	CAMPAGNE 3	Du 02 au 04 décembre	02 déc: pose des piézomètres	3 mm	Temps sec	X	X	X	X	Sans objet			X	X	-	X	-	X
St ROMAIN (16)	CAMPAGNE 1	Du 24 au 26 juin 2013	/	Temps sec	Temps sec	X	X	X	Sans objet	-	-	-	Sans objet	-	-	-	X	-
	CAMPAGNE 2	Du 31 juillet au 2 août 2013	27 août : mesure indice IBD	Temps sec	Temps sec	X	X	X	Sans objet	X	X	X	Sans objet	-	-	-	X	-
	CAMPAGNE 3	Du 25 au 27 novembre 2013	/	13 mm	Temps sec	X	X	X	Sans objet	X	X	-	Sans objet	X	-	X	-	X
MIOS (33)	CAMPAGNE 1	Le 29 juillet 2013	22 juil. : Pose piézomètre PZ5 Indice IBD, IBGN, IBMR	Temps sec	Temps sec	-	-	X	Sans objet	-	X	X	X	-	-	-	-	-
	CAMPAGNE 2	Le 29 août 2013	/	Précipitations importantes	Temps sec	-	-	X	Sans objet	-	X	-	X	-	-	-	-	X
	CAMPAGNE 3	Le 28 novembre 2013	/	Temps sec	Temps sec	-	-	X	Sans objet	-	X	-	-	-	-	-	-	X

## Année 2014

		Dates d'interventions		Pluviométrie		Eaux de surface ZRV				Eaux infiltrées	Milieu récepteur eaux de surface		Nappe	Boues		Sol	Faune/ Flore	Intensité lumineuse	
		Suivi ZRV IRH	Interventions complémentaires	Avant ( à 7 jours)	Pendant	Mesure de débit entrée sortie	Suivi en continu paramètres physico-chimiques entrée sortie	Prélèvements 2x24h +Analyses physico-chimiques et bactériologiques	Prélèvements 2x24h +Analyses micropolluants	Prélèvements ponctuels +Analyses physico-chimiques et bactériologiques	Débit Amont/ Aval	Prélèvements ponctuels + Analyses physico-chimiques et bactériologiques	Indice IBD	Prélèvements ponctuels + Analyses physico-chimiques et bactériologiques	Mesure de hauteur	Prélèvements ponctuels et analyse ETM, HAB, PCB	Mesure de perméabilité	Inventaire	Suivi variation flux de photons actifs pour la photosynthèse
MEYSSAC (19)	CAMPAGNE 4	Du 04 au 06 juin 2014	/	15 mm	Temps sec	X	X	X	-	Sans objet	-	-	-	Sans objet	X	X	-	X	X
	CAMPAGNE 5	Du 15 au 18 juillet 2014	/	46 mm	Temps sec	X	X	X	-	Sans objet	-	-	-	Sans objet	X	-	-	X	X
	CAMPAGNE 6	Du 20 au 22 août 2014	25/08 : mesure indice IBD	7 mm	Temps sec	X	X	X	-	Sans objet	X	X	X	Sans objet	X	-	-	X	X
	CAMPAGNE 7	Du 12 au 14 novembre 2014	/	10 mm	4,5 mm	X	X	X	-	Sans objet	X	X	-	Sans objet	X	-	X	-	X
CAILLAC (46)	CAMPAGNE 4	Du 02 au 04 juin 2014	/	2 mm	2 mm (en fin de suivi)	X	X	X	-	X	Sans objet		X	-	-	-	X	X	
	CAMPAGNE 5	Du 09 au 11 juillet 2014	/	4 mm	Temps sec	X	X	X	-	X	Sans objet		X	-	-	-	X	X	
	CAMPAGNE 6	Du 04 au 06 août 2014	/	13 mm	1 mm	X	X	X	-	X	Sans objet		X	-	-	-	X	X	
	CAMPAGNE 7	Du 27 au 29 octobre 2014	/	Temps sec	Temps sec	X	X	X	-	X	Sans objet		X	X	X	X	-	X	
MONTANS (81)	CAMPAGNE 4	Du 05 au 07 mai 2014	/	10 mm	Temps sec	X	X	X	-	Sans objet	-	-	-	Sans objet	X	-	-	X	X
	CAMPAGNE 5	Du 10 au 12 juin 2014	/	Temps sec	Temps sec	X	X	X	-	Sans objet	-	-	-	Sans objet	X	X	-	X	X
	CAMPAGNE 6	Du 18 au 20 août 2014	25/08 : mesure indice IBD	3 mm	Temps sec	X	X	X	X	Sans objet	X	X	X	Sans objet	X	-	-	X	X
	CAMPAGNE 7	Du 03 au 05 novembre 2014	18/11 : curage bassins	1 mm	10 mm	X	X	X	X	Sans objet	X	X	-	Sans objet	X	-	X	-	X
BASCONS (40)	CAMPAGNE 4	Du 14 au 16 mai 2014	/	< 1 mm	Temps sec	X	X	X	-	X	Sans objet		X	X	-	-	X	X	
	CAMPAGNE 5	Du 16 au 18 juin 2014	/	Temps sec	Temps sec	X	X	X	-	X	Sans objet		X	X	-	-	X	X	
	CAMPAGNE 6	Du 11 au 13 août 2014	/	7 mm	10 mm	X	X	X	-	X	Sans objet		X	X	X	-	X	X	
	CAMPAGNE 7	Du 25 au 27 novembre 2014	/	6 mm	7,5 mm	X	X	X	-	X	Sans objet		X	X	-	X	-	X	
St ROMAIN (16)	CAMPAGNE 4	Du 26 au 28 mai 2014	/	50 mm	15 mm	X	X	X	-	Sans objet	-	-	-	Sans objet	-	-	-	X	X
	CAMPAGNE 5	Du 1 au 3 juillet 2014	/	7 mm	< 2mm	X	X	X	-	Sans objet	-	-	-	Sans objet	X	X	-	X	X
	CAMPAGNE 6	Du 26 au 28 août	29/08 : mesure indice IBD	18 mm	3 mm	X	X	X	X	Sans objet	X	X	X	Sans objet	-	-	-	-	X
	CAMPAGNE 7	Du 19 au 21 novembre 2014	/	40 mm	Temps sec	X	X	X	X	Sans objet	X	X	-	Sans objet	-	-	-	-	X
MIOS (33)	Pas de suivi en 2014, visite ponctuelle																		

## Année 2015

		Dates d'interventions		Pluviométrie (mm)		Eaux de surface ZRV				Eaux infiltrées	Milieu récepteur eaux de surface		Nappe	Boues	Sol	Faune/ Flore	Intensité lumineuse					
		Suivi ZRV IRH	Interventions complémentaires	Avant (à 7 jours)	Pendant	Mesure de débit entrée sortie				Suivi en continu paramètres physico-chimiques entrée sortie	Prélèvements 2x24h +Analyses physico-chimiques et bactério	Prélèvements 2x24h +Analyses micropolluants	Prélèvements ponctuels +Analyses physico-chimiques et bactério	Débit Amont/ Aval	Prélèvements ponctuels + Analyses physico-chimiques et bactério	Indice IBD	Prélèvements ponctuels + Analyses physico-chimiques et bactério	Mesure de hauteur	Prélèvements ponctuels et analyse ETM, HAB, PCB	Mesure de perméabilité	Inventaire	Suivi variation flux de photons actifs pour la photosynthèse
MEYSSAC	Campagne 08	Du 11 au 13 mai 2015	/	10	0	X	X	X	-	Sans objet	-	-	-	Sans objet	X	-	-	X	X			
	Campagne 09	Du 24 au 26 juin 2015	/	0	0	X	X	X	-	Sans objet	-	-	-	Sans objet	X	-	-	X	X			
	Campagne 10	Du 19 au 21 août 2015	/	4	0	X	X	X	-	Sans objet	X	X	-	Sans objet	X	X	-	-	X			
	Campagne 11	Du 04 au 06 nov 2015	/	10	0	X	X	X	-	Sans objet	X	X	-	Sans objet	X	-	-	-	X			
CAILLAC	Campagne 08	Du 19 au 21 mai 2015	/	8	3	X	X	X	-	-	Sans objet		-	X	-	-	X	-	X	X		
	Campagne 09	Du 22 au 24 juin 2015	/	6	0	X	X	X	-	-	Sans objet		-	X	-	-	X	-	X	X		
	Campagne 10	Du 04 au 06 août 2015	/	2	0	X	X	X	-	-	Sans objet		-	X	-	-	-	-	-	X		
	Campagne 11	Du 02 au 04 nov 2015	/	0	12	X	X	X	-	-	Sans objet		X	X	-	-	-	-	-	X		
MONTANS	Campagne 08	Du 04 au 06 mai 2015	/	8	0	X	X	X	-	Sans objet	-	-	-	Sans objet	X	-	-	X	X			
	Campagne 09	Du 08 au 10 juin 2015	/	0	1	X	X	X	-	Sans objet	-	-	-	Sans objet	X	-	-	X	X			
	Campagne 10	Du 10 au 12 août 2015	IBD : 26 août 2015	21	0	X	X	X	X	Sans objet	X	X	X	Sans objet	X	X	-	-	X			
	Campagne 11	Du 17 au 19 nov 2015	Curage : 23 nov. 2015	28	1	X	X	X	X	Sans objet	X	X	-	Sans objet	X	-	-	-	X			
BASCONS	Campagne 08	Du 02 au 04 juin 2015	/	0	0	X	X	X	-	-	Sans objet		-	X	-	-	X	-	X	X		
	Campagne 09	Du 30 juin au 02 juil 2015	/	0	0	X	X	X	-	-	Sans objet		-	X	-	-	X	-	X	X		
	Campagne 10	Du 01 au 03 sept 2015	/	21	10	X	X	X	-	-	Sans objet		-	X	X	-	-	-	-	X		
	Campagne 11	Du 24 au 26 nov 2015	/	1	16	X	X	X	-	-	Sans objet		-	X	-	-	-	-	-	X		
SAINT-ROMAIN	Campagne 08	Du 26 au 28 mai 2015	/	0	0	X	X	X	-	Sans objet	-	-	-	Sans objet	X	-	X	X	X			
	Campagne 09	Du 15 au 17 juin 2015	/	30	0	X	X	X	-	Sans objet	-	-	-	Sans objet	X	-	-	X	X			
	Campagne 10	Du 25 au 27 août 2015	/	30	0	X	X	X	X	Sans objet	X	X	-	Sans objet	X	X	-	-	X			
	Campagne 11	Du 30 nov. au 02 déc 2015	/	5	0	X	X	X	X	Sans objet	X	X	-	Sans objet	X	-	-	-	X			
MIOS (33)	Pas de suivi en 2015																					

ANNEXE B2 : Synthèse des  
résultats compilés par site

## Résultat par site :

## MEYSSAC

## Agence de l'Eau Adour-Garonne - Suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés

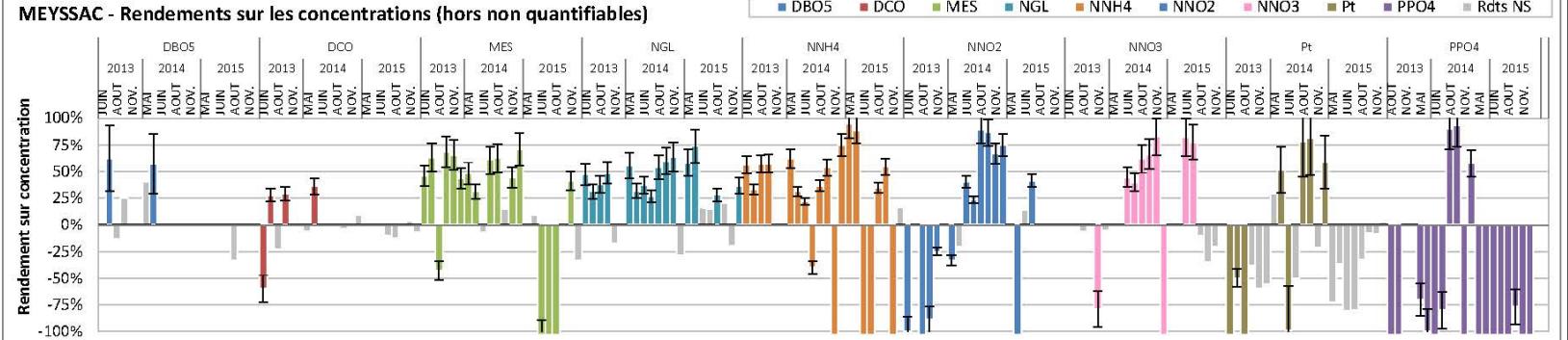
### MEYSSAC - Rendement sur concentration

Cas où les substances n'ont pas été quantifiées :	22% (NQ)
<b>Sur l'ensemble des paramètres suivis, lorsque les substances sont quantifiées :</b>	
La ZRV a une influence négative dans 23% des cas	
La ZRV n'a pas d'influence dans 28% des cas	
La ZRV a une influence positive dans 49% des cas	
dont un rendement < 30% dans 6% des cas	
dont un rendement entre 30 et 70% dans 33% des cas	
dont un rendement > 70% dans 9% des cas	

Les rendements sont variables, il n'y a pas de tendance franche. Globalement, la ZRV a peu d'impact sur les paramètres (rendement non significatif ou non quantifiable). Les tendances mesurées sont :

- La ZRV à peu ou pas d'influence sur les concentrations en DB05, DCO, NNO2, NNO3, Pt
- La ZRV diminue majoritairement les concentrations en MES, NGL, NNH4, NTK
- La ZRV augmente majoritairement les concentrations en PPO4

### MEYSSAC - Rendements sur les concentrations (hors non quantifiables)



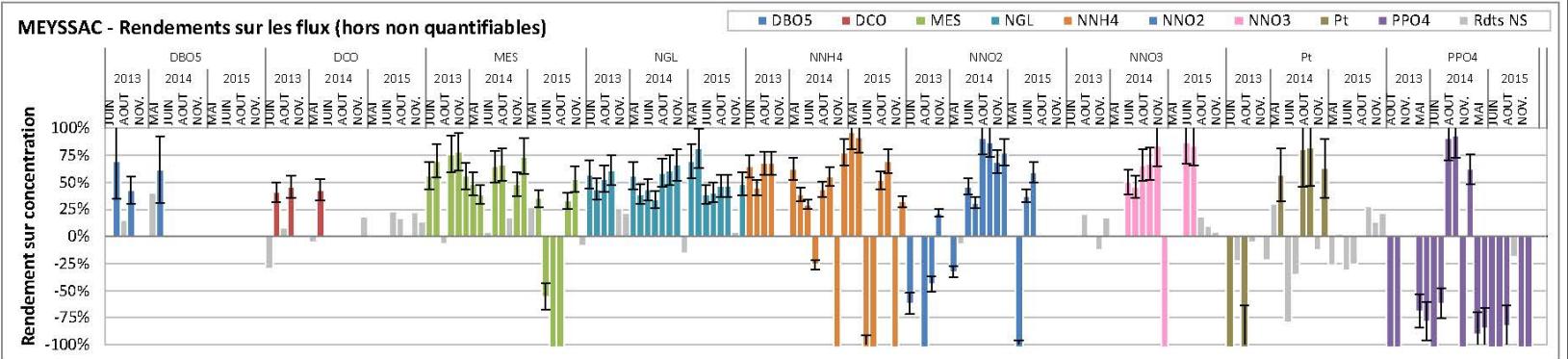
### MEYSSAC - Rendement sur flux

Cas où les substances n'ont pas été quantifiées :	22% (NQ)
<b>Sur l'ensemble des paramètres suivis, lorsque les substances sont quantifiées :</b>	
La ZRV a une influence négative dans 18% des cas	
La ZRV n'a pas d'influence dans 27% des cas	
La ZRV a une influence positive dans 54% des cas	
dont un rendement < 30% dans 2% des cas	
dont un rendement entre 30 et 70% dans 41% des cas	
dont un rendement > 70% dans 11% des cas	

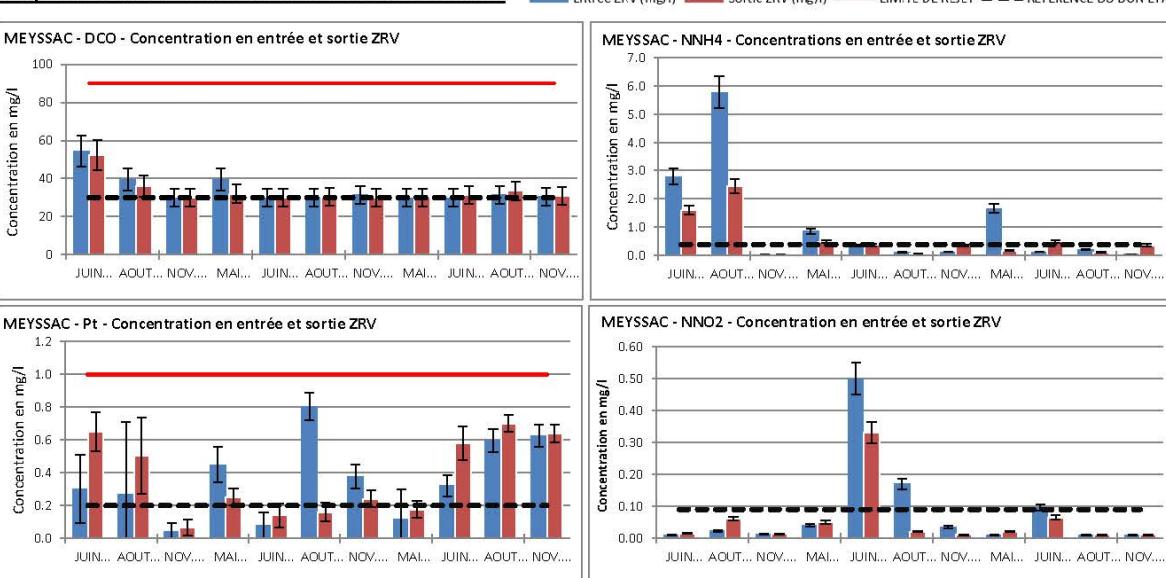
Les rendements sont variables, il n'y a pas de tendance franche. Globalement, la ZRV a peu d'impact sur le paramètre (rendement non significatif ou non quantifiable). Les tendances mesurées sont :

- La ZRV à peu ou pas d'influence sur les flux de DB05, DCO, NNO3, Pt
- La ZRV diminue majoritairement les flux de MES, NGL, NNH4, NNO2, NTK
- La ZRV augmente majoritairement les flux de PPO4

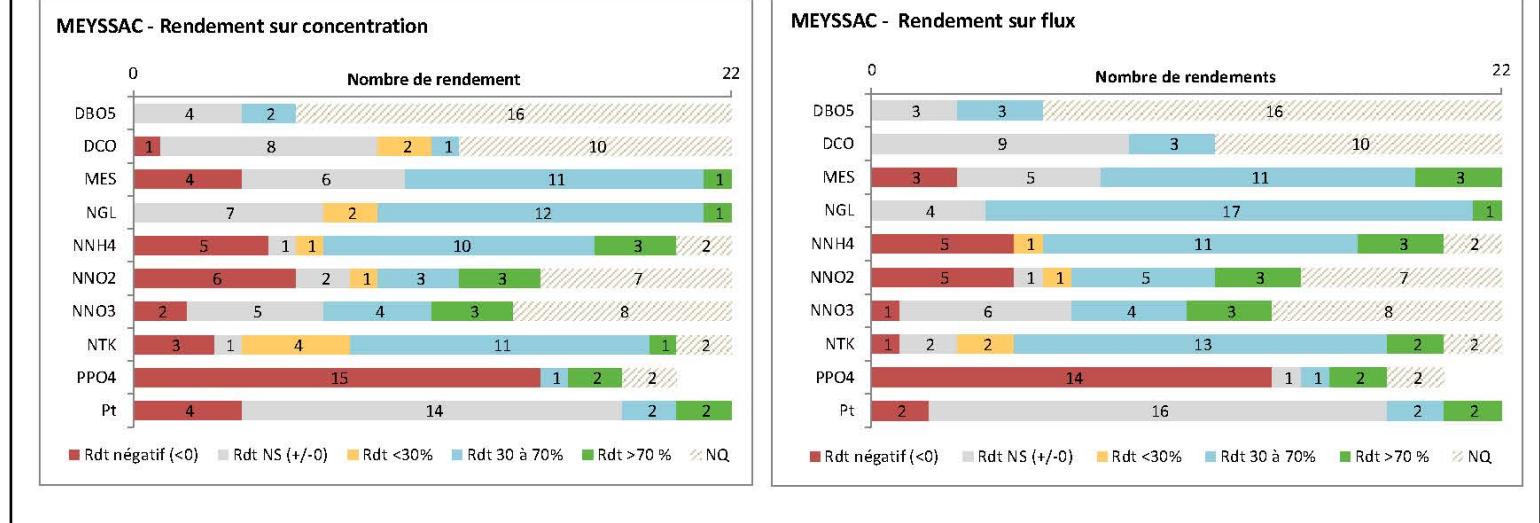
### MEYSSAC - Rendements sur les flux (hors non quantifiables)



### Comparaison des concentrations mesurées aux références



### Distribution des résultats par rendements



### Tableau de synthèse

MEYSSAC	CENTRÉE		C/SORTIE		CONCENTRATION						FLUX						Impact global sur les flux rejetés			
	ZRV (mg/l)		ZRV (mg/l)		Distribution des rendements sur concentration				Impact global sur les concentrations				Distribution des rendements sur flux				Impact global sur les flux rejetés			
	Min	Max	Min	Max	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/-0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/-0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire
DB05	3	8	3	4	22	73% (16)	- (0)	9% (2)	- (0)	18% (4)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	73% (16)	- (0)	14% (3)	- (0)	14% (3)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les flux
DCO	30	79	30	57	22	45% (10)	- (0)	5% (1)	9% (2)	36% (8)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	45% (10)	- (0)	14% (3)	- (0)	41% (9)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les flux
MES	2.3	19	2	18	22	- (0)	5% (1)	50% (11)	- (0)	27% (6)	18% (4)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	14% (3)	50% (11)	- (0)	23% (5)	14% (3)	Diminue le flux journalier rejeté
NGL	1.21	11.83	1.21	6.05	22	- (0)	5% (1)	55% (12)	9% (2)	32% (7)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	5% (1)	77% (17)	- (0)	18% (4)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté
NNH4	0.04	7.37	0.04	3.13	22	9% (2)	14% (3)	45% (10)	5% (1)	5% (1)	23% (5)	Diminue la concentration moyenne	22	9% (2)	14% (3)	50% (11)	5% (1)	23% (5)	Diminue le flux journalier rejeté	
NNO2	0.01	0.62	0.01	0.37	22	32% (7)	14% (3)	14% (3)	5% (1)	9% (2)	27% (6)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	32% (7)	14% (3)	23% (5)	5% (1)	5% (1)	23% (5)	Diminue le flux journalier rejeté
NNO3	0.2	5.69	0.2	2.91	22	36% (8)	14% (3)	18% (4)	- (0)	23% (5)	9% (2)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	36% (8)	14% (3)	18% (4)	- (0)	27% (6)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les flux
NTK	1	11.6	1	5.8	22	9% (2)	5% (1)	50% (11)	18% (4)	5% (1)	14% (3)	Diminue la concentration moyenne	22	9% (2)	59% (13)	9% (2)	9% (2)	5% (1)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté
PPO4	0.03	0.69	0.03	0.42	20	10% (2)	10% (2)	5% (1)	- (0)	- (0)	75% (15)	Augmente la concentration moyenne	20	10% (2)	10% (2)	5% (1)	- (0)	5% (1)	70% (14)	Augmente le flux journalier rejeté
Pt	0.04	0.93	0.06	0.75	22	- (0)	9% (2)	9% (2)	- (0)	64% (14)	18% (4)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	- (0)	9% (2)	9% (2)	- (0)	73% (16)	9% (2)	Peu ou pas d'influence sur les flux
Tous paramètres	-	-	-	-	218	22% (47)	7% (16)	26% (57)	5% (10)	22% (48)	18% (40)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	218	22% (47)	9% (19)	32% (70)	2% (4)	22% (47)	14% (31)	Peu ou pas d'influence sur les flux

## Résultat par site :

## CAILLAC

## Agence de l'Eau Adour-Garonne - Suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés

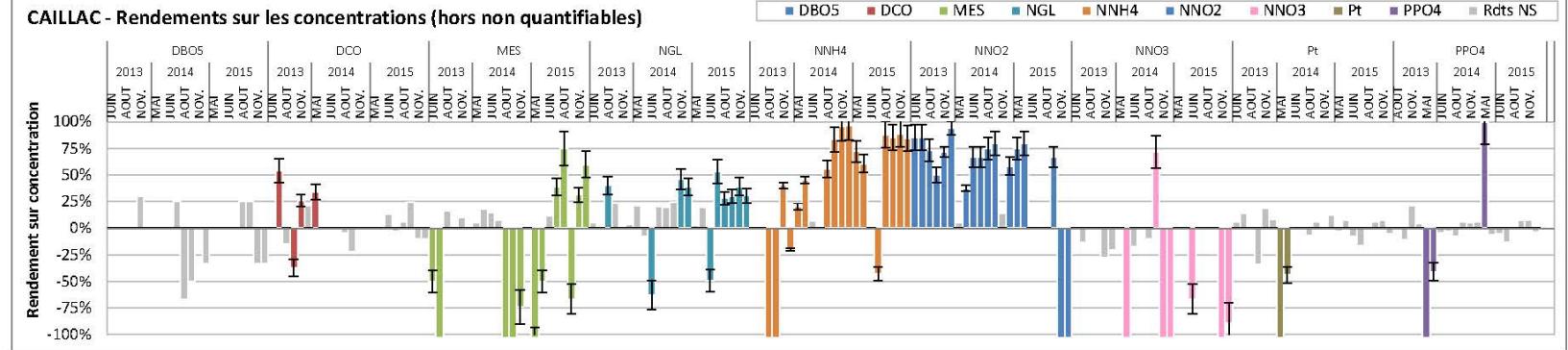
### CAILLAC - Rendement sur concentration

Cas où les substances n'ont pas été quantifiées :	21% (NQ)
<b>Sur l'ensemble des paramètres suivis, lorsque les substances sont quantifiées:</b>	
La ZRV a une influence négative dans 17% des cas	
La ZRV n'a pas d'influence dans 49% des cas	
La ZRV a une influence positive dans 34% des cas	
dont un rendement < 30% dans 5% des cas	
dont un rendement entre 30 et 70% dans 17% des cas	
dont un rendement > 70% dans 12% des cas	

Dans la majorité des cas, la ZRV a peu d'impact sur les paramètres (rendement non significatif ou non quantifiable). Les tendances mesurées sont :

- La ZRV à peu ou pas d'influence sur les concentrations en DBO5, DCO, MES, NGL, NNO3, PPO4, Pt
- La ZRV diminue majoritairement les concentrations en NNH4, NNO2, NTK

### CAILLAC - Rendements sur les concentrations (hors non quantifiables)



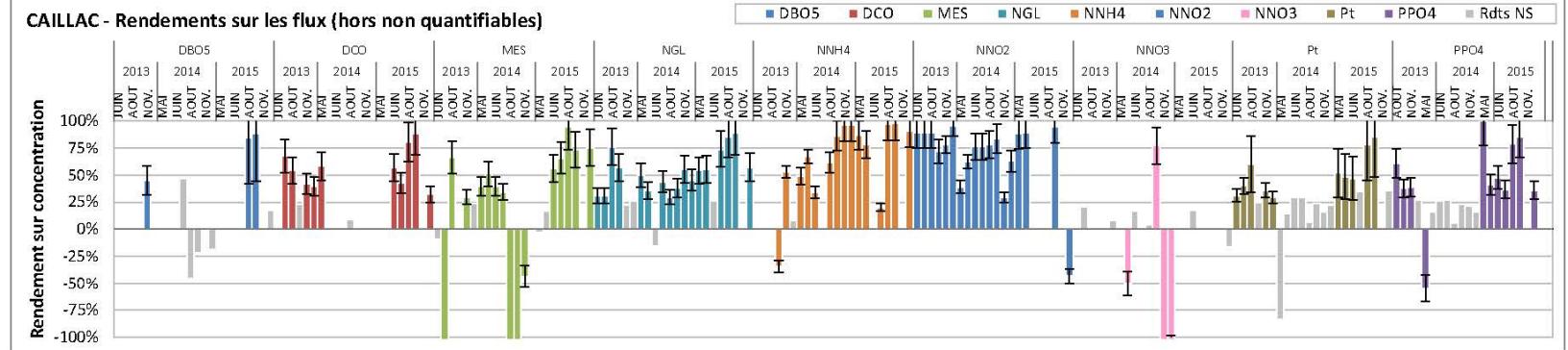
### CAILLAC - Rendement sur flux

Cas où les substances n'ont pas été quantifiées :	22% (NQ)
<b>Sur l'ensemble des paramètres suivis, lorsque les substances sont quantifiées:</b>	
La ZRV a une influence négative dans 7% des cas	
La ZRV n'a pas d'influence dans 27% des cas	
La ZRV a une influence positive dans 66% des cas	
dont un rendement < 30% dans 4% des cas	
dont un rendement entre 30 et 70% dans 35% des cas	
dont un rendement > 70% dans 27% des cas	

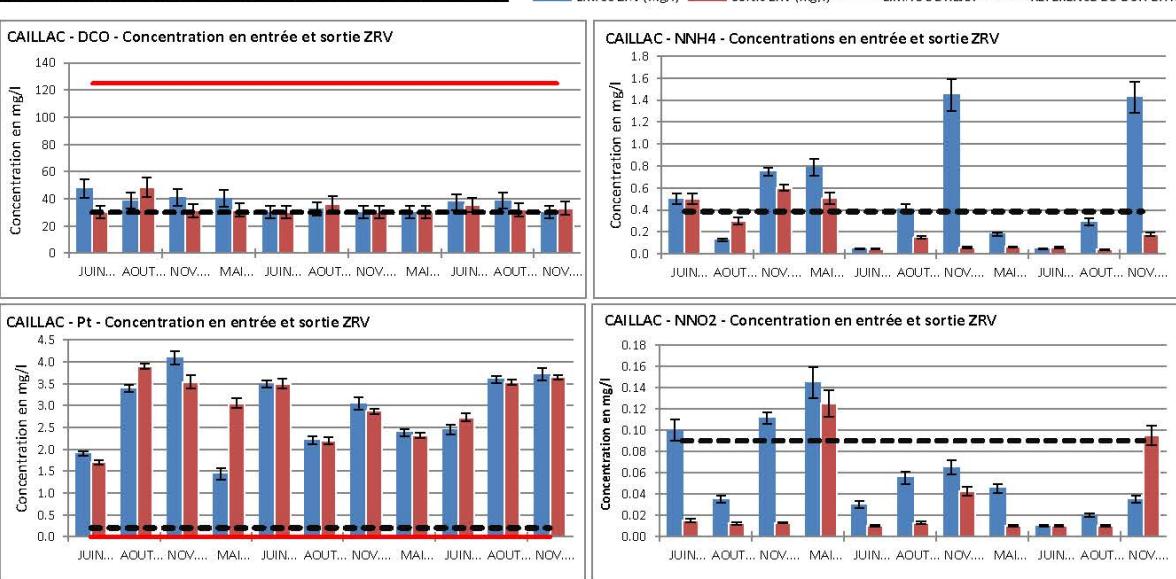
Dans la majorité des cas, la ZRV contribue à diminuer les flux rejetés. Les tendances mesurées sont :

- La ZRV à peu ou pas d'influence sur les flux de DBO5, DCO, NNO3, Pt
- La ZRV diminue majoritairement les flux de MES, NGL, NNH4, NNO2, NTK, PPO4

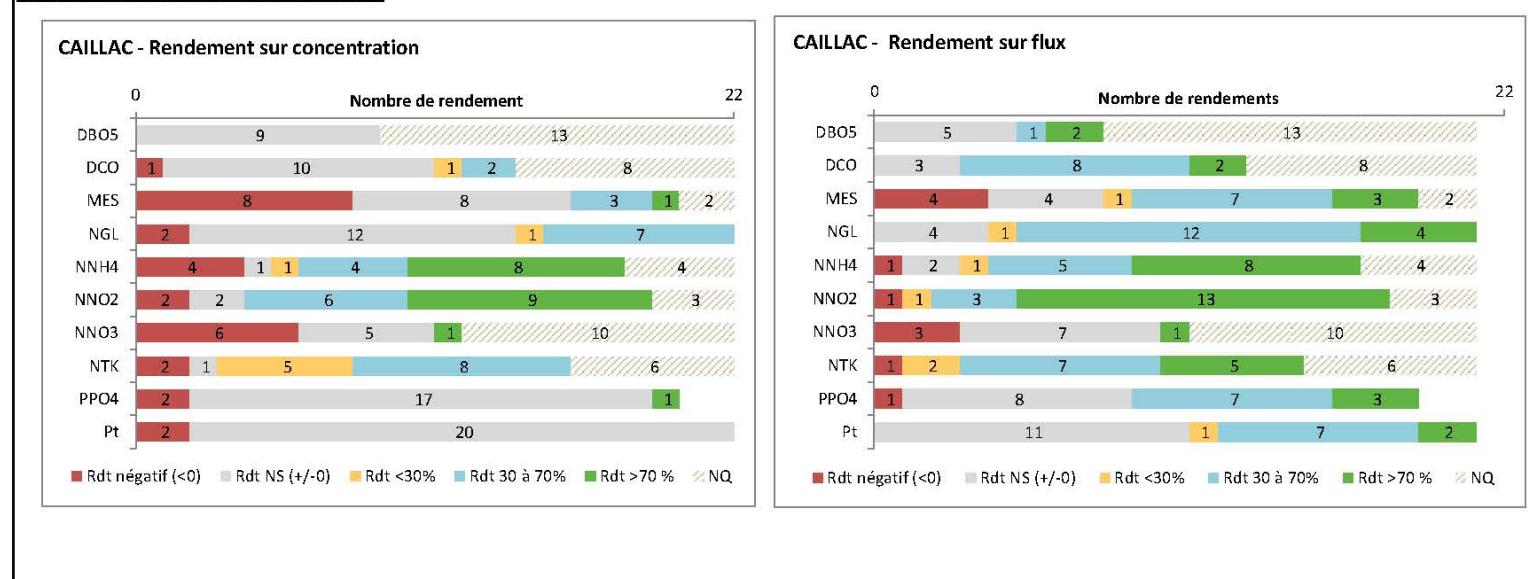
### CAILLAC - Rendements sur les flux (hors non quantifiables)



### Comparaison des concentrations mesurées aux références



### Distribution des résultats par rendements



### Tableau de synthèse

CAILLAC	[C]entrée ZRV (mg/l)		[C]sortie ZRV (mg/l)		CONCENTRATION							FLUX									
					Distribution des rendements sur concentration				Impact global sur les concentrations			Distribution des rendements sur flux				Impact global sur les flux rejétés					
	Min	Max	Min	Max	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/-0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/-0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	
DBO5	3	4.3	3	5	22	59% (13)	- (0)	- (0)	- (0)	41% (9)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	62% (13)	10% (2)	5% (1)	- (0)	24% (5)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les flux	
DCO	30	65	30	53.5	22	36% (8)	- (0)	9% (2)	5% (1)	45% (10)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	38% (8)	10% (2)	38% (8)	- (0)	14% (3)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les flux	
MES	2	20	2	26	22	9% (2)	5% (1)	14% (3)	- (0)	36% (8)	36% (8)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	10% (2)	14% (3)	33% (7)	5% (1)	19% (4)	19% (4)	Diminue le flux journalier rejeté	
NGL	1.24	3.77	1.21	3.56	22	- (0)	- (0)	32% (7)	5% (1)	55% (12)	9% (2)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	- (0)	19% (4)	57% (12)	5% (1)	19% (4)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté	
NNH4	0.04	1.94	0.04	0.6	22	18% (4)	36% (8)	18% (4)	5% (1)	5% (1)	18% (4)	Diminue la concentration moyenne	21	19% (4)	38% (8)	24% (5)	5% (1)	10% (2)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté	
NNO2	0.01	0.21	0.01	0.2	22	14% (3)	41% (9)	27% (6)	- (0)	9% (2)	9% (2)	Diminue la concentration moyenne	21	14% (3)	62% (13)	14% (3)	5% (1)	10% (2)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté	
NNO3	0.2	0.71	0.2	0.87	22	45% (10)	5% (1)	- (0)	- (0)	23% (5)	27% (6)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	48% (10)	5% (1)	- (0)	- (0)	33% (7)	14% (3)	Peu ou pas d'influence sur les flux	
NTK	1	3.5	1	3	22	27% (6)	- (0)	36% (8)	23% (5)	5% (1)	9% (2)	Diminue la concentration moyenne	21	29% (6)	24% (5)	33% (7)	10% (2)	- (0)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté	
PPO4	1.27	4.31	1.77	4.05	20	- (0)	- (0)	5% (1)	- (0)	- (0)	85% (17)	10% (2)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	19	- (0)	16% (3)	37% (7)	- (0)	42% (8)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté
Pt	1.37	4.14	1.6	3.95	22	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	91% (20)	9% (2)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	- (0)	10% (2)	33% (7)	5% (1)	52% (11)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les flux	
Tous paramètres	-	-	-	-	218	21% (46)	9% (20)	14% (30)	4% (8)	39% (85)	13% (29)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	208	22% (46)	21% (43)	27% (57)	3% (7)	21% (44)	5% (11)	Diminue le flux journalier rejeté	

## ANNEXE

## Résultat par site :

## MONTANS

## Agence de l'Eau Adour-Garonne - Suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés

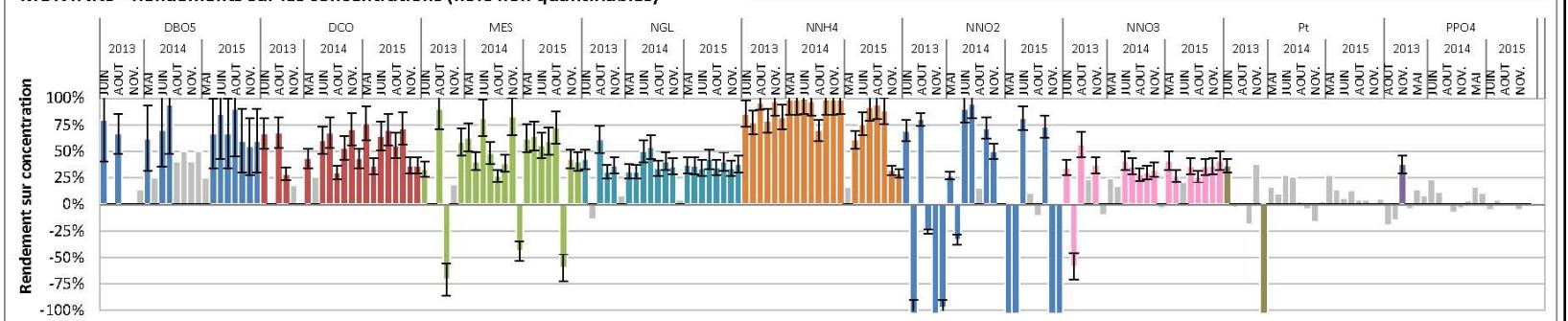
### MONTANS - Rendement sur concentration

Cas où les substances n'ont pas été quantifiées :	2% (NQ)
<b>Sur l'ensemble des paramètres suivis, lorsque les substances sont quantifiées:</b>	
La ZRV a une influence négative dans	7% des cas
La ZRV n'a pas d'influence dans	30% des cas
La ZRV a une influence positive dans	63% des cas
dont un rendement < 30% dans	5% des cas
dont un rendement entre 30 et 70% dans	35% des cas
dont un rendement > 70% dans	23% des cas

Dans la majorité des cas, la ZRV contribue à diminuer les concentrations sortie STEU. Les tendances mesurées sont :

- La ZRV à peu ou pas d'influence sur les concentrations en PPO4, Pt
- La ZRV diminue majoritairement les concentrations en DBO5, DCO, MES, NGL, NNH4, NNO3, NTK
- La ZRV augmente majoritairement les concentrations en NNO2

### MONTANS - Rendements sur les concentrations (hors non quantifiables)



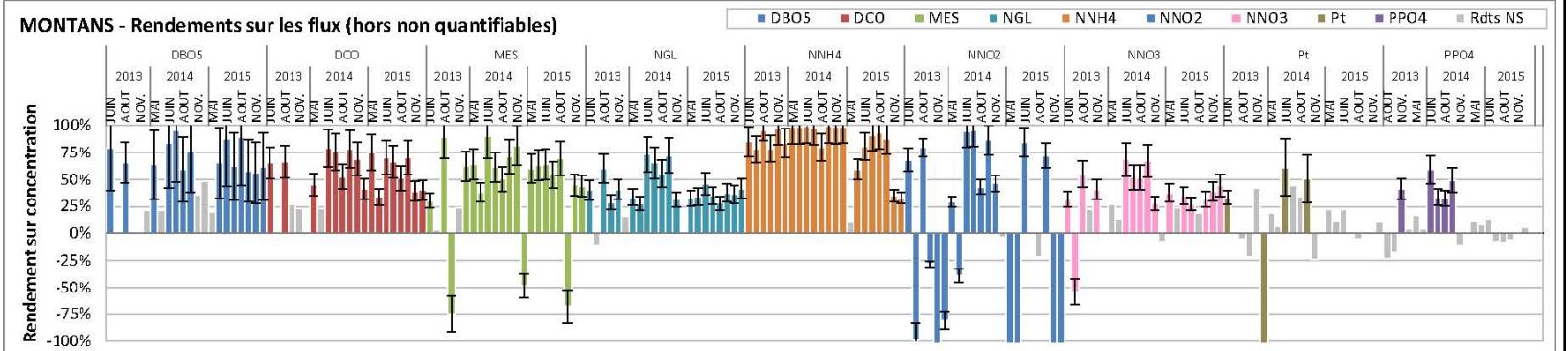
### MONTANS - Rendement sur flux

Cas où les substances n'ont pas été quantifiées :	2% (NQ)
<b>Sur l'ensemble des paramètres suivis, lorsque les substances sont quantifiées:</b>	
La ZRV a une influence négative dans	7% des cas
La ZRV n'a pas d'influence dans	27% des cas
La ZRV a une influence positive dans	66% des cas
dont un rendement < 30% dans	3% des cas
dont un rendement entre 30 et 70% dans	37% des cas
dont un rendement > 70% dans	26% des cas

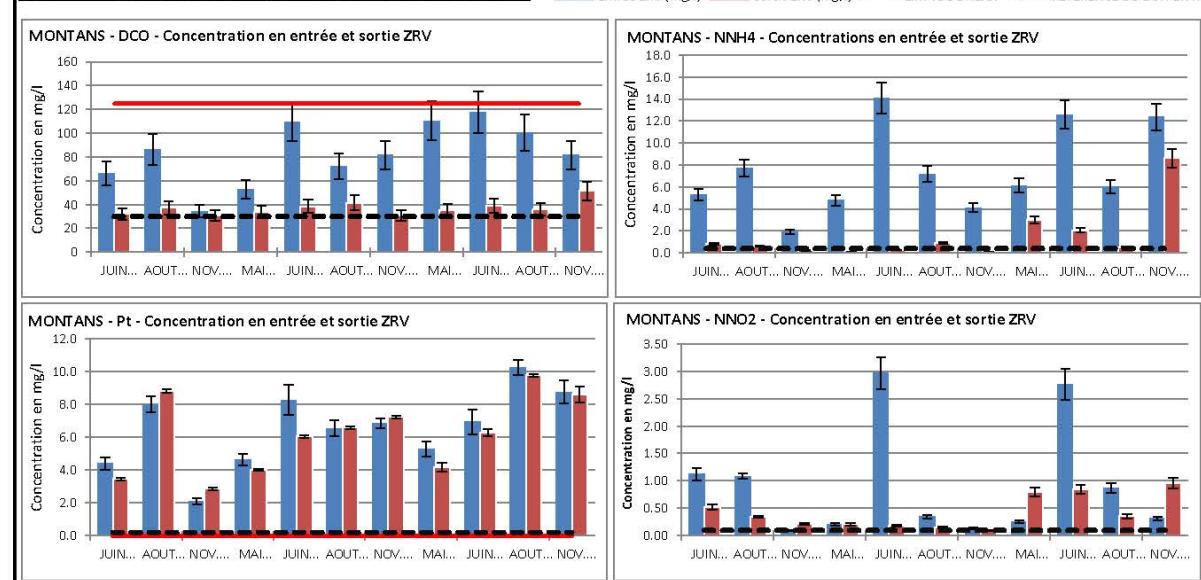
Dans la majorité des cas, la ZRV contribue à diminuer les flux rejetés. Les tendances mesurées sont :

- La ZRV à peu ou pas d'influence sur les flux de PPO4, Pt
- La ZRV diminue majoritairement les flux de DBO5, DCO, MES, NGL, NNH4, NNO2, NNO3, NTK

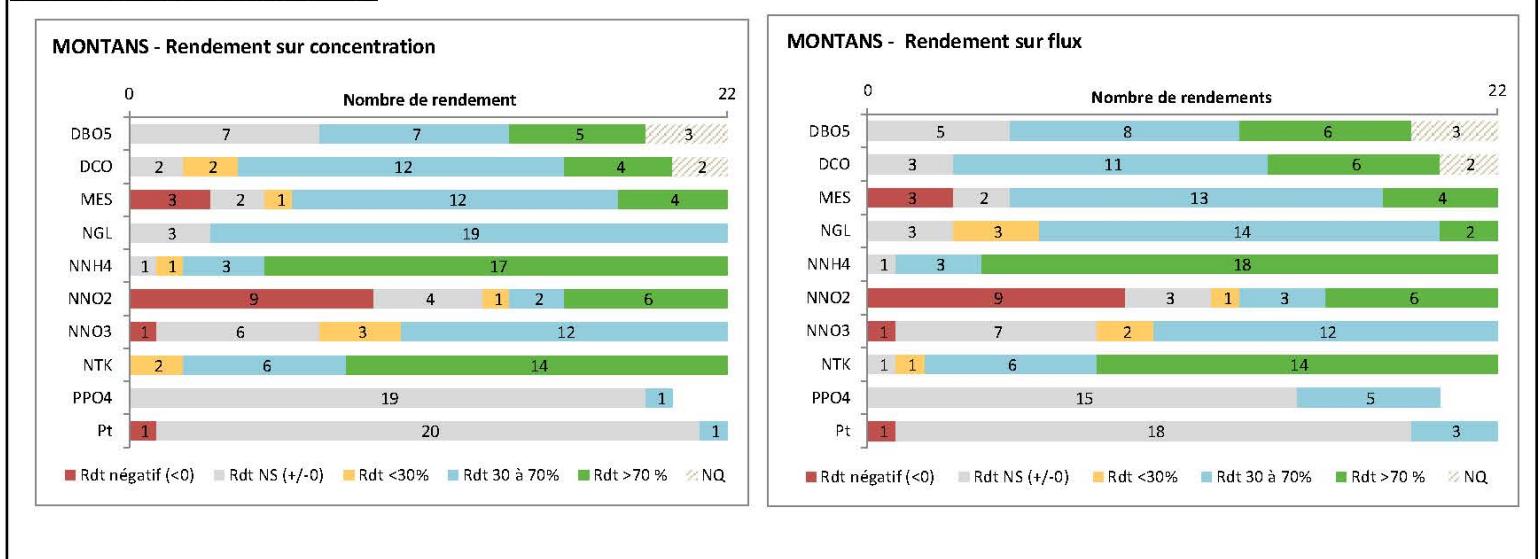
### MONTANS - Rendements sur les flux (hors non quantifiables)



### Comparaison des concentrations mesurées aux références



### Distribution des résultats par rendements



### Tableau de synthèse

MONTANS	CONCENTRATION		FLUX												Impact global sur les concentrations				Distribution des rendements sur flux		Impact global sur les flux rejetés			
	Distribution des rendements sur concentration		Impact global sur les concentrations										Distribution des rendements sur flux		Impact global sur les flux rejetés				Distribution des rendements sur flux		Impact global sur les flux rejetés			
	Min	Max	Min	Max	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/-0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/-0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire				
DBO5	3	50	3	5	22	14% (3)	23% (5)	32% (7)	- (0)	32% (7)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	14% (3)	27% (6)	36% (8)	- (0)	23% (5)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté				
DCO	30	174	30	53	22	9% (2)	18% (4)	55% (12)	9% (2)	9% (2)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	9% (2)	27% (6)	50% (11)	- (0)	14% (3)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté				
MES	5.8	53	2.2	72	22	- (0)	18% (4)	55% (12)	5% (1)	9% (2)	14% (3)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	18% (4)	59% (13)	- (0)	9% (2)	14% (3)	Diminue le flux journalier rejeté				
NGL	8.5	91.62	9.7	54.63	22	- (0)	- (0)	86% (19)	- (0)	14% (3)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	9% (2)	64% (14)	14% (3)	14% (3)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté				
NNH4	1.33	16.1	0.04	9.33	22	- (0)	77% (17)	14% (3)	5% (1)	5% (1)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	82% (18)	14% (3)	- (0)	5% (1)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté				
NNO2	0.08	5.16	0.06	0.97	22	- (0)	27% (6)	9% (2)	5% (1)	18% (4)	41% (9)	Augmente la concentration moyenne	22	- (0)	27% (6)	14% (3)	5% (1)	14% (3)	41% (9)	Diminue le flux journalier rejeté				
NNO3	4.89	81.46	7.76	53.13	22	- (0)	- (0)	55% (12)	14% (3)	27% (6)	5% (1)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	- (0)	55% (12)	9% (2)	32% (7)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté				
NTK	2.3	22.9	1	9.8	22	- (0)	64% (14)	27% (6)	9% (2)	- (0)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	64% (14)	27% (6)	5% (1)	5% (1)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté				
PPO4	2.52	10.61	2.2	10.77	20	- (0)	- (0)	5% (1)	- (0)	95% (19)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	20	- (0)	- (0)	25% (5)	- (0)	75% (15)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les flux				
Pt	0.01	10.4	2.58	9.91	22	- (0)	- (0)	5% (1)	- (0)	91% (20)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	- (0)	- (0)	14% (3)	- (0)	82% (18)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les flux				
Tous paramètres	-	-	-	-	218	2% (5)	23% (50)	34% (75)	5% (10)	29% (64)	6% (14)	Diminue la concentration moyenne	218	2% (5)	26% (56)	36% (78)	3% (7)	27% (58)	6% (14)	Diminue le flux journalier rejeté				

## Résultat par site :

## BASCONS

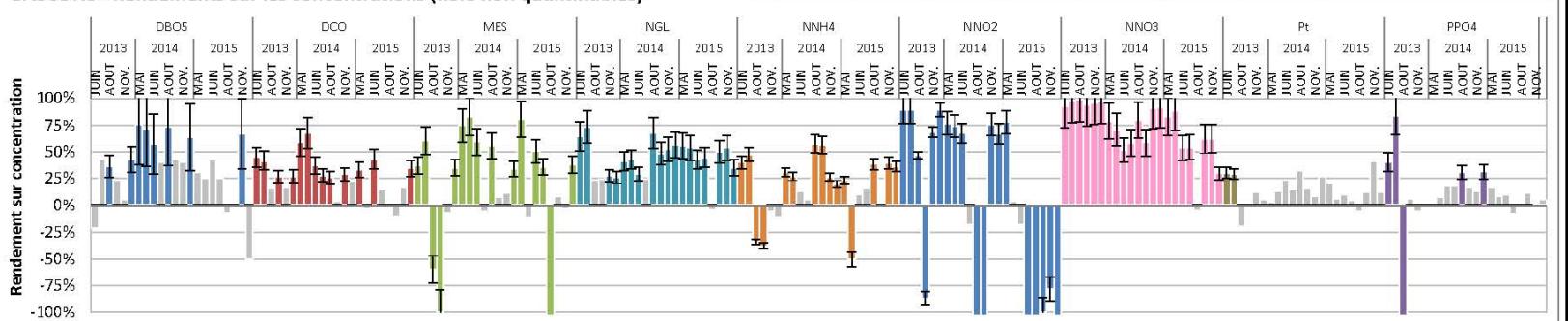
### BASCONS - Rendement sur concentration

Cas où les substances n'ont pas été quantifiées :	0% (NQ)
<b>Sur l'ensemble des paramètres suivis, lorsque les substances sont quantifiées:</b>	
La ZRV a une influence négative dans	9% des cas
La ZRV n'a pas d'influence dans	40% des cas
La ZRV a une influence positive dans	52% des cas
dont un rendement < 30% dans	8% des cas
dont un rendement entre 30 et 70% dans	31% des cas
dont un rendement > 70% dans	13% des cas

Dans la majorité des cas, la ZRV contribue à diminuer les concentrations sortie STEU. Les tendances mesurées sont :

- La ZRV à peu ou pas d'influence sur les concentrations en DBO5, PPO4, Pt
- La ZRV diminue majoritairement les concentrations en DCO, MES, NGL, NNH4, NNO2, NNO3, NTK

### BASCONS - Rendements sur les concentrations (hors non quantifiables)



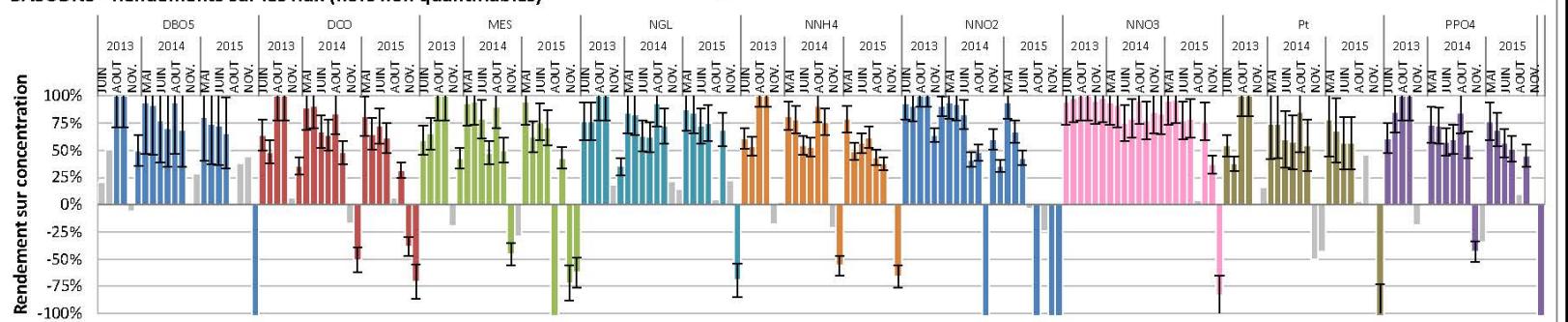
### BASCONS - Rendement sur flux

Cas où les substances n'ont pas été quantifiées :	0% (NQ)
<b>Sur l'ensemble des paramètres suivis, lorsque les substances sont quantifiées:</b>	
La ZRV a une influence négative dans	11% des cas
La ZRV n'a pas d'influence dans	17% des cas
La ZRV a une influence positive dans	72% des cas
dont un rendement < 30% dans	1% des cas
dont un rendement entre 30 et 70% dans	29% des cas
dont un rendement > 70% dans	42% des cas

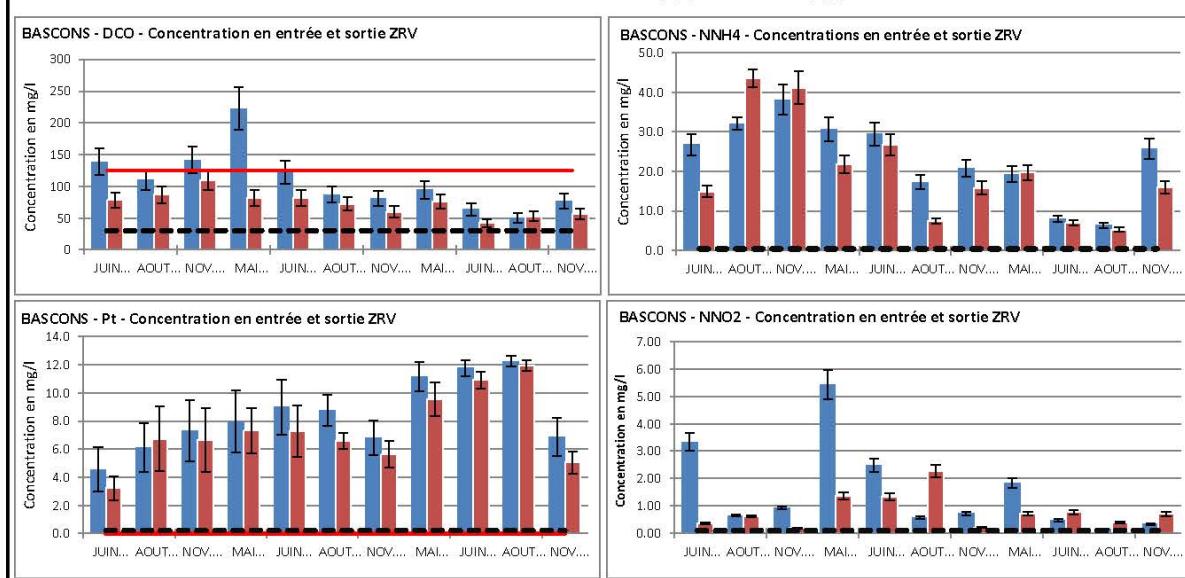
Dans la majorité des cas, la ZRV contribue à diminuer les flux rejetés. Les tendances mesurées sont :

- La ZRV diminue majoritairement les flux de DBO5, DCO, MES, NGL, NNH4, NNO2, NNO3, NTK, PPO4, Pt

### BASCONS - Rendements sur les flux (hors non quantifiables)

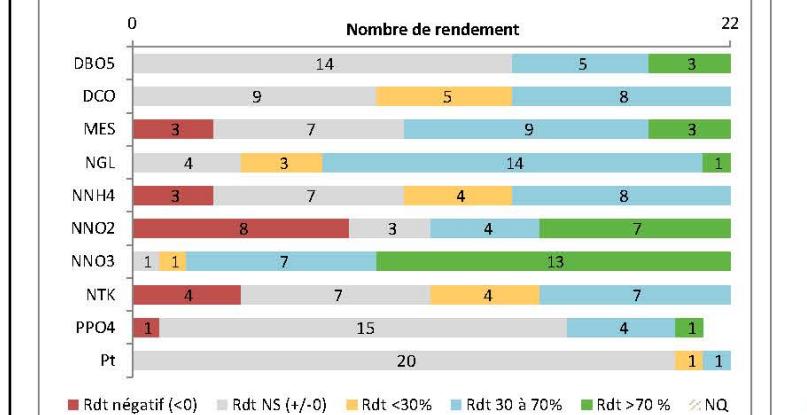


### Comparaison des concentrations mesurées aux références

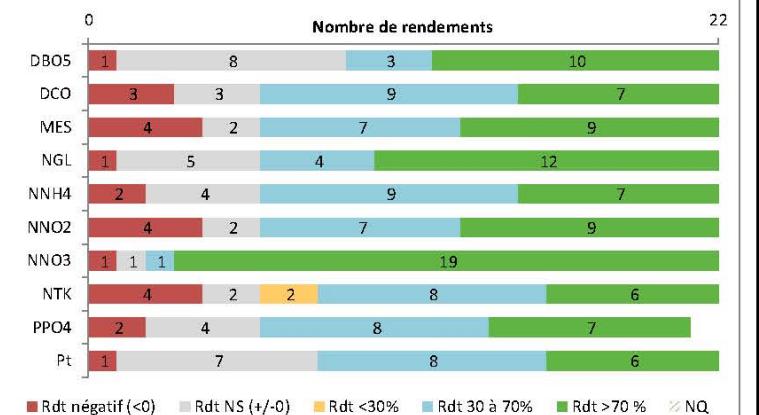


### Distribution des résultats par rendements

#### BASCONS - Rendement sur concentration



#### BASCONS - Rendement sur flux

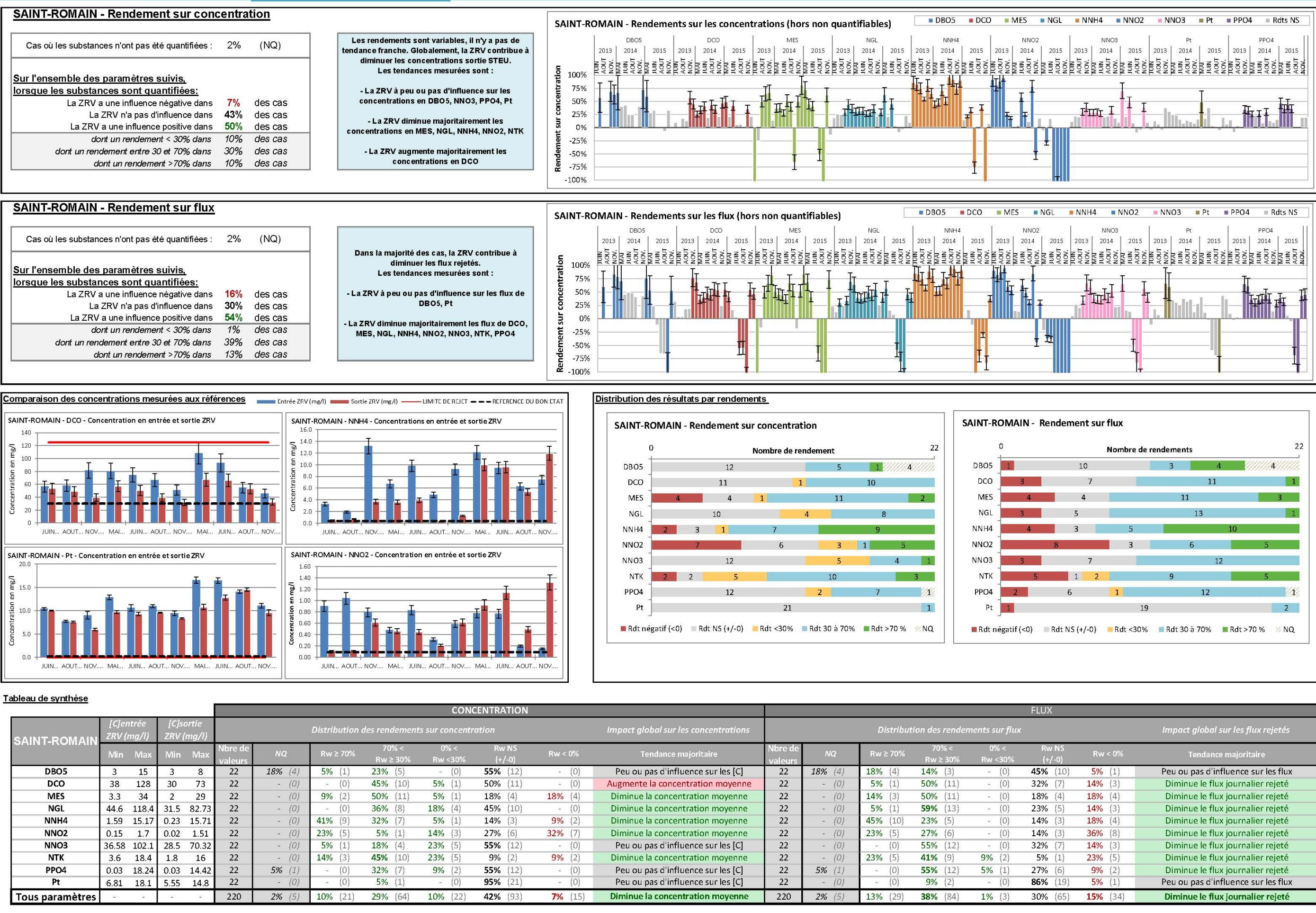


### Tableau de synthèse

BASCONS	[C]entrée ZRV (mg/l)	[C]sortie ZRV (mg/l)	CONCENTRATION						FLUX						Impact global sur les concentrations						Impact global sur les flux rejetés	
	Min	Max	Min	Max	Nb de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/-0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	Nb de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/-0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire		
DBO5	3	25	3	17	22	- (0)	14% (3)	23% (5)	- (0)	64% (14)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	- (0)	45% (10)	14% (3)	- (0)	36% (8)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté		
DCO	41	231	35	115	22	- (0)	- (0)	36% (8)	23% (5)	41% (9)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	32% (7)	41% (9)	- (0)	14% (3)	14% (3)	Diminue le flux journalier rejeté		
MES	3,3	67	5,1	33	22	- (0)	14% (3)	41% (9)	- (0)	32% (7)	14% (3)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	41% (9)	32% (7)	- (0)	9% (2)	18% (4)	Diminue le flux journalier rejeté		
NGL	44,28	73,5	17,9	54,67	22	- (0)	5% (1)	64% (14)	14% (3)	18% (4)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	55% (12)	18% (4)	- (0)	23% (5)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté		
NNH4	5,23	38,27	3,21	47	22	- (0)	- (0)	36% (8)	18% (4)	32% (7)	14% (3)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	32% (7)	41% (9)	- (0)	18% (4)	9% (2)	Diminue le flux journalier rejeté		
NNO2	0,14	6,39	0,12	2,89	22	- (0)	32% (7)	18% (4)	- (0)	14% (3)	36% (8)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	41% (9)	32% (7)	- (0)	9% (2)	18% (4)	Diminue le flux journalier rejeté		
NNO3	12,74	60,13	0,35	48,88	22	- (0)	59% (13)	32% (7)	5% (1)	5% (1)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	86% (19)	5% (1)	- (0)	5% (1)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté		
NTK	5,6	44,4	5,3	51,1	22	- (0)	- (0)	32% (7)	18% (4)	32% (7)	18% (4)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	27% (6)	36% (8)	9% (2)	9% (2)	18% (4)	Diminue le flux journalier rejeté		
PPO4	0,03	19,2	3,2	12,27	21	- (0)	5% (1)	19% (4)	- (0)	71% (15)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	- (0)	33% (7)	38% (8)	- (0)	19% (4)	10% (2)	Diminue le flux journalier rejeté		
Pt	4,3	13,6	3	14,3	22	- (0)	- (0)	5% (1)	5% (1)	91% (20)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	- (0)	27% (6)	36% (8)	- (0)	32% (7)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté		
<b>Tous paramètres</b>	-	-	-	-	219	- (0)	13% (28)	31% (67)	8% (18)	40% (87)	9% (19)	Diminue la concentration moyenne	219	- (0)	42% (92)	29% (64)	1% (2)	17% (38)	11% (23)	Diminue le flux journalier rejeté		

## Résultat par site :

## SAINT-ROMAIN



## ANNEXE B3 : Synthèse des résultats compilés par paramètres

## Résultat par paramètre :

DB05

DBO5 - Rendement sur concentration

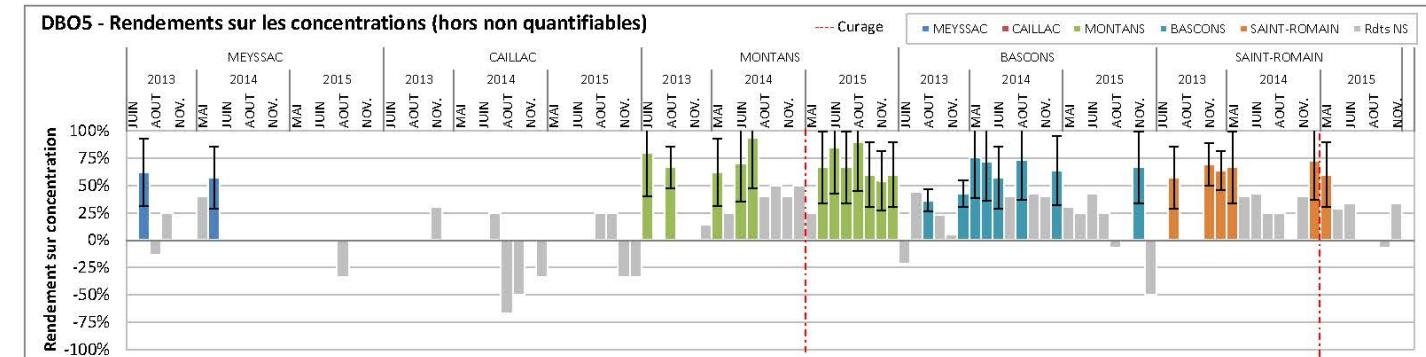
Cas où la substance n'a pas été quantifiée : 33% (NQ)

<u>Lorsque la substance est quantifiée :</u>		
La ZRV a une influence négative dans	<b>0%</b>	des cas
La ZRV n'a pas d'influence dans	<b>62%</b>	des cas
La ZRV a une influence positive dans	<b>38%</b>	des cas
<i>dont un rendement &lt; 30% dans</i>	<i>0%</i>	<i>des cas</i>
<i>dont un rendement entre 30 et 70% dans</i>	<i>26%</i>	<i>des cas</i>
<i>dont un rendement &gt; 70% dans</i>	<i>12%</i>	<i>des cas</i>

Rendement moyen lorsque la substance est quantifiée:	34%
Rendement moyen dans 90% des cas lorsque la substance est quantifiée:	35%

**Ecart type :** 36% **Min :** -67%  
**Max :** 94%

Dans la majorité des cas, la ZRV a peu d'impact sur le paramètre (rendement non significatif ou non quantifiable).



## DBO5 - Rendement sur flux

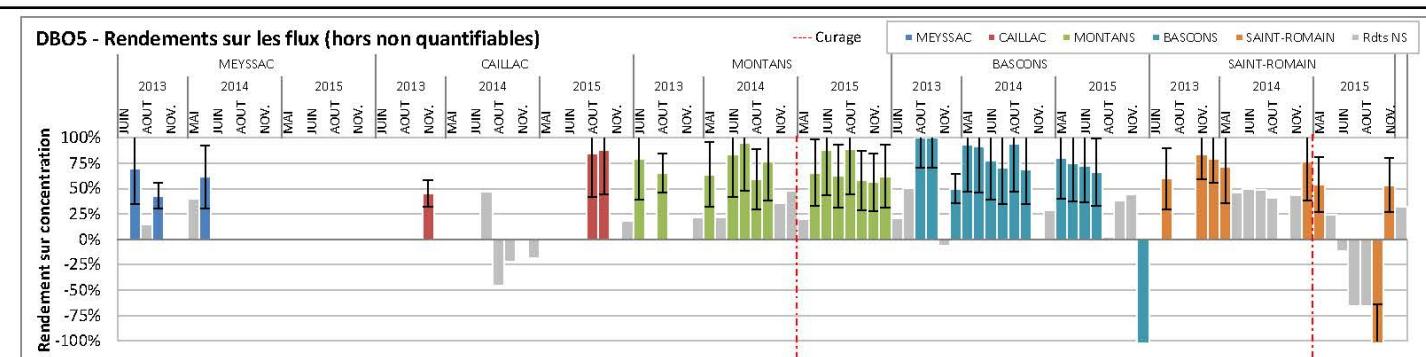
Cas où la substance n'a pas été quantifiée : 33% (NQ)

<b>Lorsque la substance est quantifiée :</b>	
La ZRV a une influence négative dans	<b>3%</b> des cas
La ZRV n'a pas d'influence dans	<b>42%</b> des cas
La ZRV a une influence positive dans	<b>55%</b> des cas
donc un rendement < 30% dans	0% des cas
donc un rendement entre 30 et 70% dans	25% des cas
donc un rendement > 70% dans	30% des cas

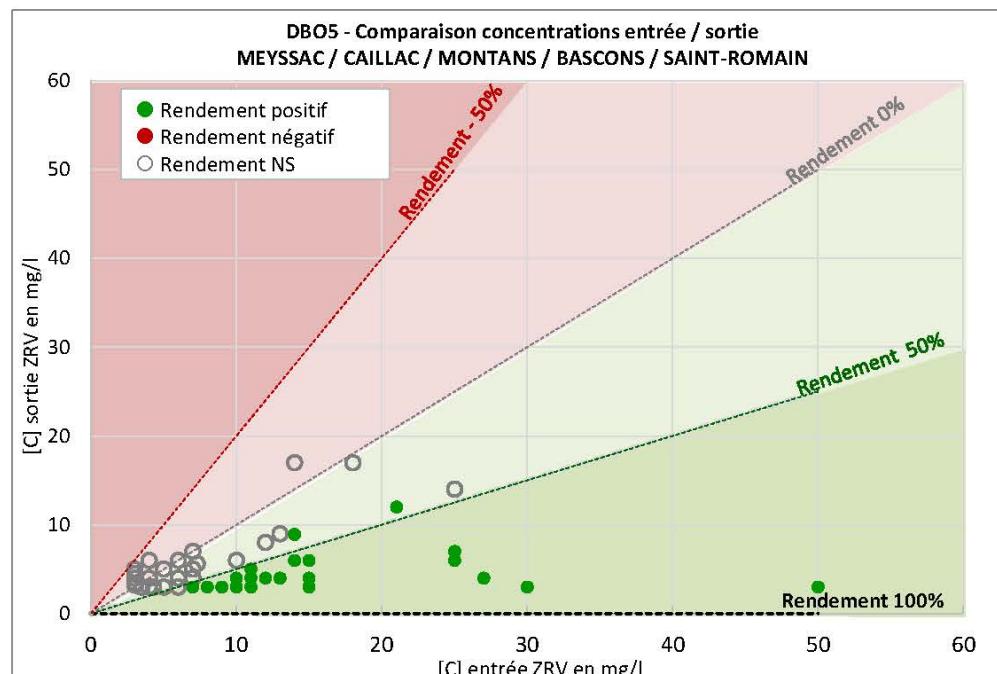
Rendement moyen lorsque la substance est quantifiée:	41%
Rendement moyen dans 90% des cas lorsque la substance est quantifiée:	48%

**Ecart type :** 58% **Min :** -292% **Max :** 100%

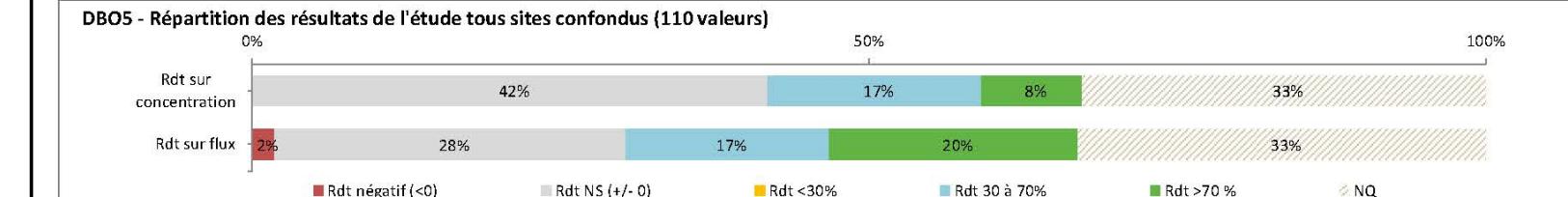
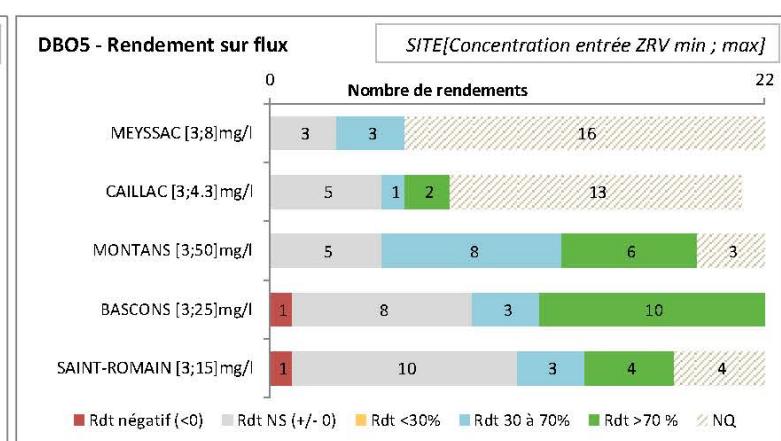
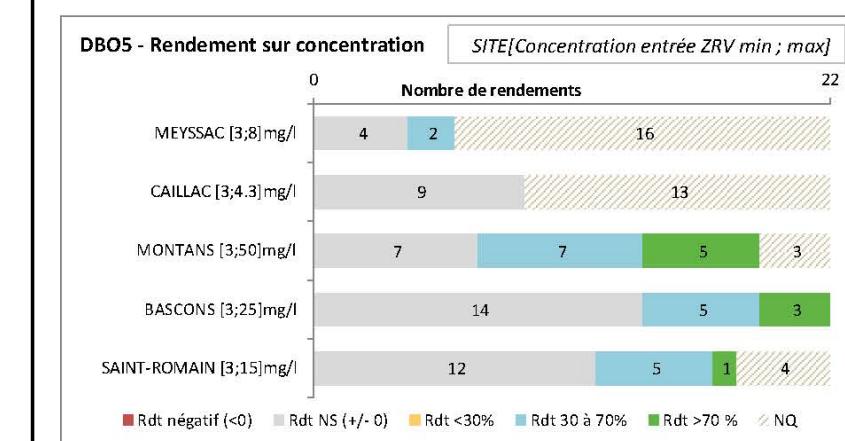
Dans la majorité des cas, la ZRV a peu d'impact sur le paramètre (rendement non significatif ou non quantifiable).



#### Analyse des rendements sur concentration en fonction de la concentration sortie STEU (entrée ZRV)



### Distribution des résultats par rendement



### Tableau de synthèse

DBO5	[C]entrée ZRV (mg/l)	[C]sortie ZRV (mg/l)	CONCENTRATION								FLUX															
	Distribution des rendements sur concentration				Impact global sur les concentrations				Distribution des rendements sur flux				Impact global sur les flux rejetés													
			Min	Max	Min	Max	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/-)	Rw < 0%		Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/-)	Rw < 0%					
MEYSSAC	3	8	3	4	22	73% (16)	- (0)	9%	(2)	- (0)	18%	(4)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	73% (16)	- (0)	14%	(3)	- (0)	14%	(3)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les flux		
CAILLAC	3	4.3	3	5	22	59% (13)	- (0)	- (0)	- (0)	41%	(9)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	62% (13)	10% (2)	5%	(1)	- (0)	24%	(5)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les flux			
MONTANS	3	50	3	5	22	14% (3)	23%	(5)	32%	(7)	- (0)	32%	(7)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	14% (3)	27% (6)	36%	(8)	- (0)	23%	(5)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté	
BASCONS	3	25	3	17	22	- (0)	14%	(3)	23%	(5)	- (0)	64%	(14)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	- (0)	45%	(10)	14%	(3)	- (0)	36%	(8)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté
SAINT-ROMAIN	3	15	3	8	22	18% (4)	5%	(1)	23%	(5)	- (0)	55%	(12)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	18% (4)	18% (4)	14%	(3)	- (0)	45%	(10)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les flux	
Tous sites	3	50	3	17	110	32% (35)	8%	(9)	17%	(19)	- (0)	42%	(46)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	109	33% (36)	20%	(22)	17%	(18)	- (0)	28%	(31)	2% (2)	Peu ou pas d'influence sur les flux

### Résultat par paramètre :

DCO

DCO - Rendement sur concentration

Cas où la substance n'a pas été quantifiée : 18% (NQ)

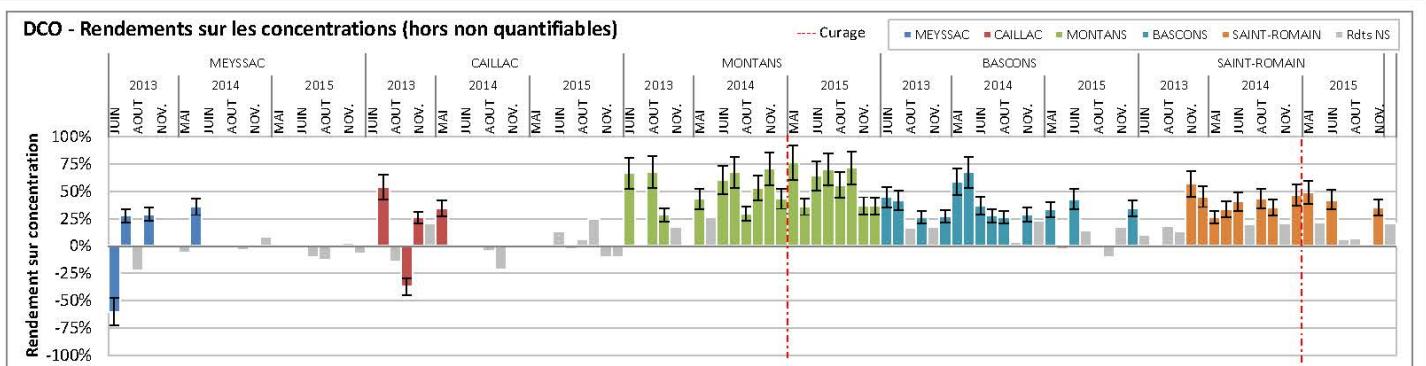
### Lorsque la substance est quantifiée

La ZRV a une influence négative dans	2%	de
La ZRV n'a pas d'influence dans	44%	de
La ZRV a une influence positive dans	53%	de
<i>dont un rendement &lt; 30% dans</i>	12%	de
<i>dont un rendement entre 30 et 70% dans</i>	37%	de
<i>dont un rendement &gt; 70% dans</i>	4%	de

<p>Rendement moyen lorsque la substance est quantifiée:</p> <p>25%</p>	<p>Rendement moyen dans 90% des cas lorsque la substance est quantifiée:</p> <p>25%</p>
--	---

*Ecart type :* 26% *Min :* -60%  
*Ecart type :* 26% *Max :* 72%

Dans la majorité des cas, la ZRV a peu d'impact sur le paramètre (rendement non significatif ou non quantifiable).



DCO - Rendement sur flux

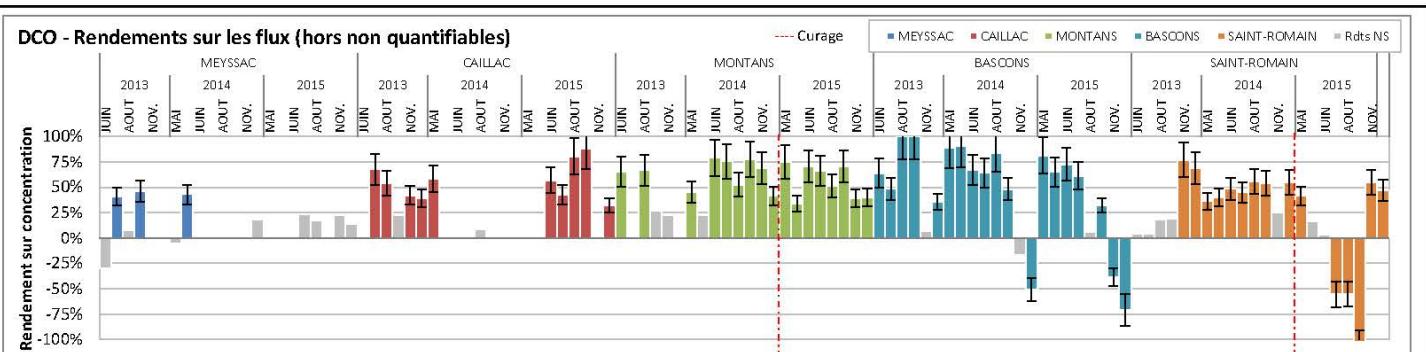
Cas où la substance n'a pas été quantifiée : 18% (NQ)

### Lorsque la substance est quantifiée

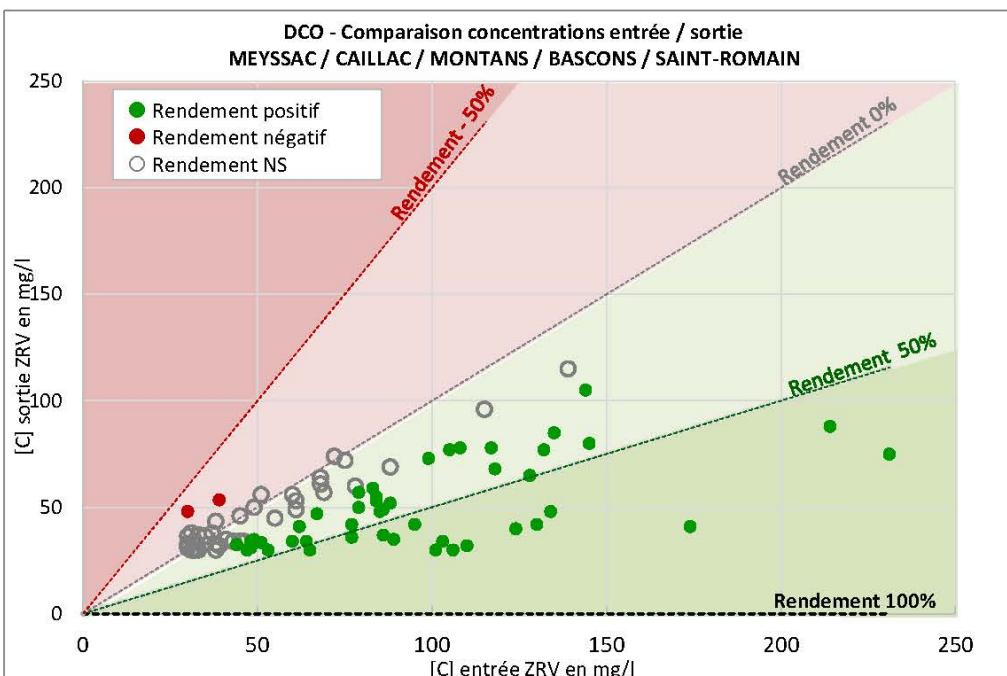
La ZRV a une influence négative dans	7%	de
La ZRV n'a pas d'influence dans	28%	de
La ZRV a une influence positive dans	65%	de
<i>dont un rendement &lt; 30% dans</i>	0%	de
<i>dont un rendement entre 30 et 70% dans</i>	47%	de
<i>dont un rendement &gt; 70% dans</i>	18%	de

Rendement moyen lorsque la substance est quantifiée:	37%
Rendement moyen dans 90% des cas lorsque la substance est quantifiée:	40%

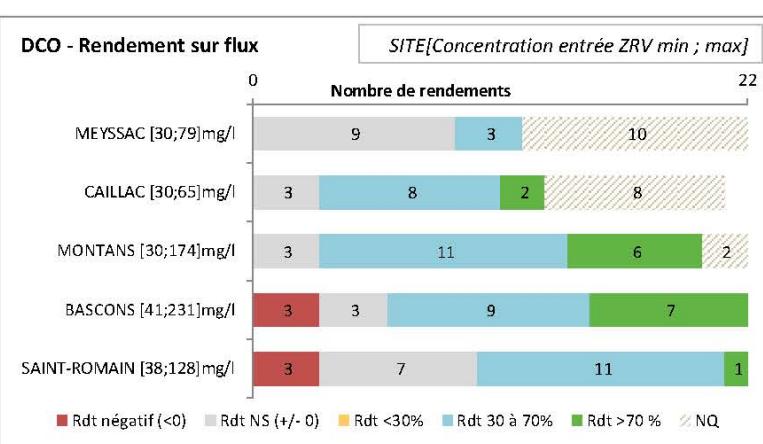
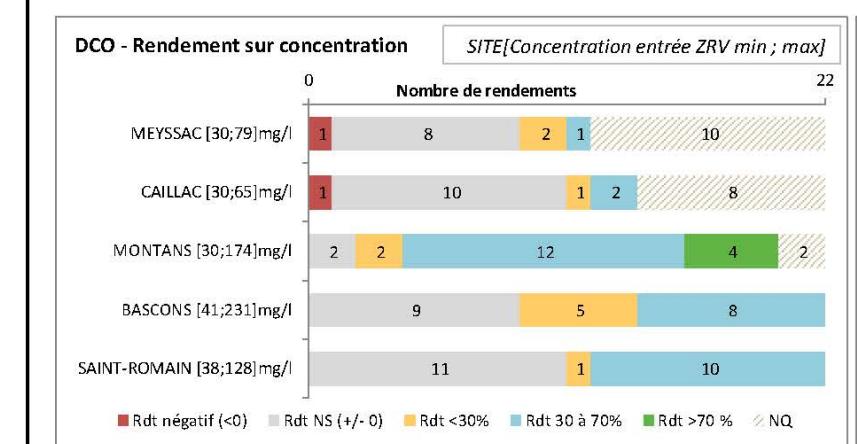
<b>Ecart type :</b>	39%	<b>Min :</b>	-117%
		<b>Max :</b>	100%



#### Analyse des rendements sur concentration en fonction de la concentration sortie STEU (entrée ZRV)



### Distribution des résultats par rendement



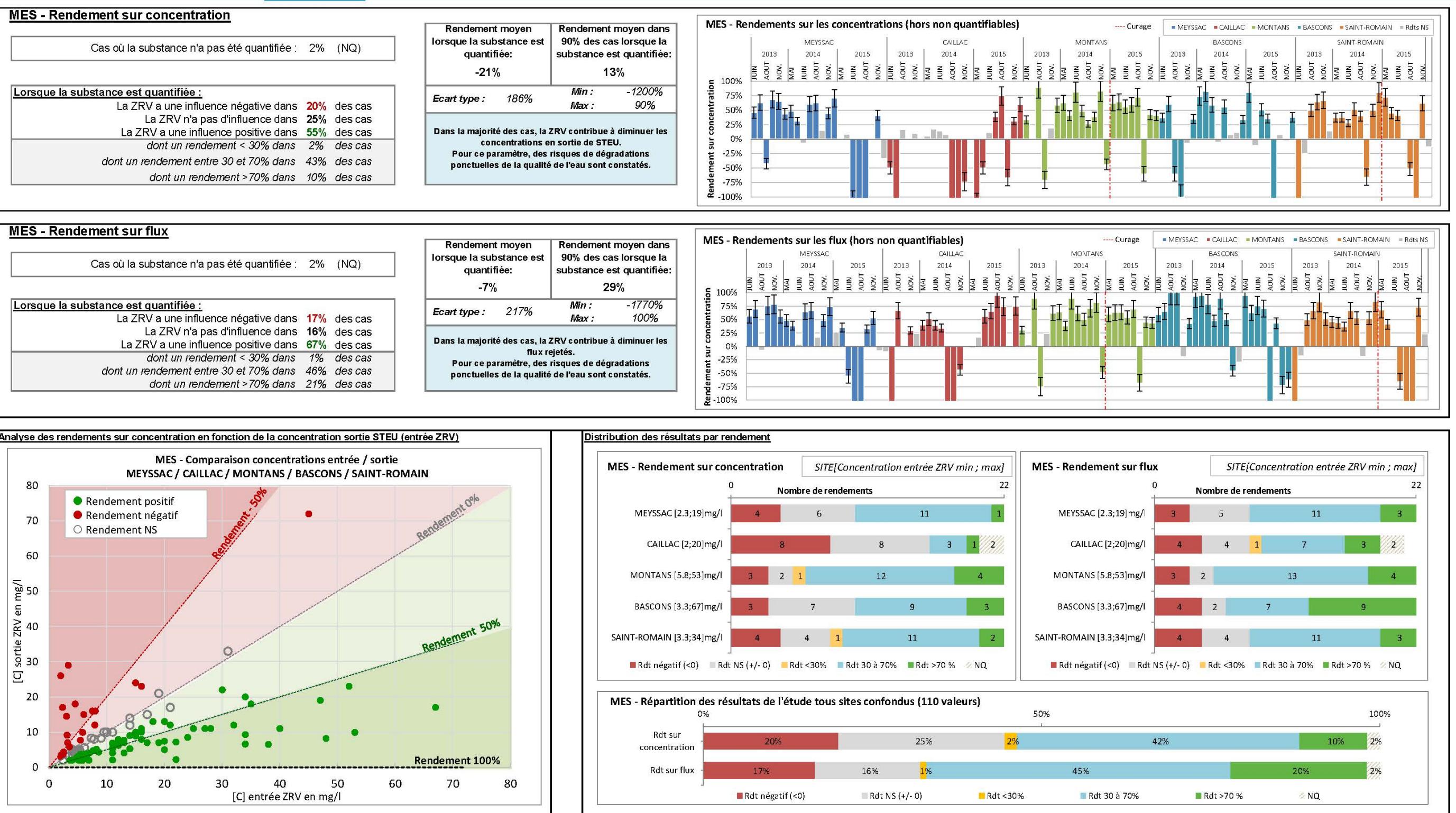
## Tableau de synthèse

DCO	[C]entrée ZRV (mg/l)	[C]sortie ZRV (mg/l)	CONCENTRATION								FLUX									
	Distribution des rendements sur concentration				Impact global sur les concentrations				Distribution des rendements sur flux				Impact global sur les flux rejetés							
	Min	Max	Min	Max	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw <30%	Rw NS (+/-0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw <30%	Rw NS (+/-0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire
MEYSSAC	30	79	30	57	22	45% (10)	- (0)	5% (1)	9% (2)	36% (8)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	45% (10)	- (0)	14% (3)	- (0)	41% (9)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les flux
CAILLAC	30	65	30	54	22	36% (8)	- (0)	9% (2)	5% (1)	45% (10)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	38% (8)	10% (2)	38% (8)	- (0)	14% (3)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les flux
MONTANS	30	174	30	53	22	9% (2)	18% (4)	55% (12)	9% (2)	99% (2)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	9% (2)	27% (6)	50% (11)	- (0)	14% (3)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté
BASCONS	41	231	35	115	22	- (0)	- (0)	36% (8)	23% (5)	41% (9)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	32% (7)	41% (9)	- (0)	14% (3)	14% (3)	Diminue le flux journalier rejeté
SAINT-ROMAIN	38	128	30	73	22	- (0)	- (0)	45% (10)	5% (1)	50% (11)	- (0)	Augmente la concentration moyenne	22	- (0)	5% (1)	50% (11)	- (0)	32% (7)	14% (3)	Diminue le flux journalier rejeté
Tous sites	30	231	30	115	110	18% (20)	4% (4)	30% (33)	10% (11)	37% (40)	2% (2)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	109	18% (20)	15% (16)	39% (42)	- (0)	23% (25)	6% (6)	Diminue le flux journalier rejeté

## Résultat par paramètre :

## MES

## Agence de l'Eau Adour-Garonne - Suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés



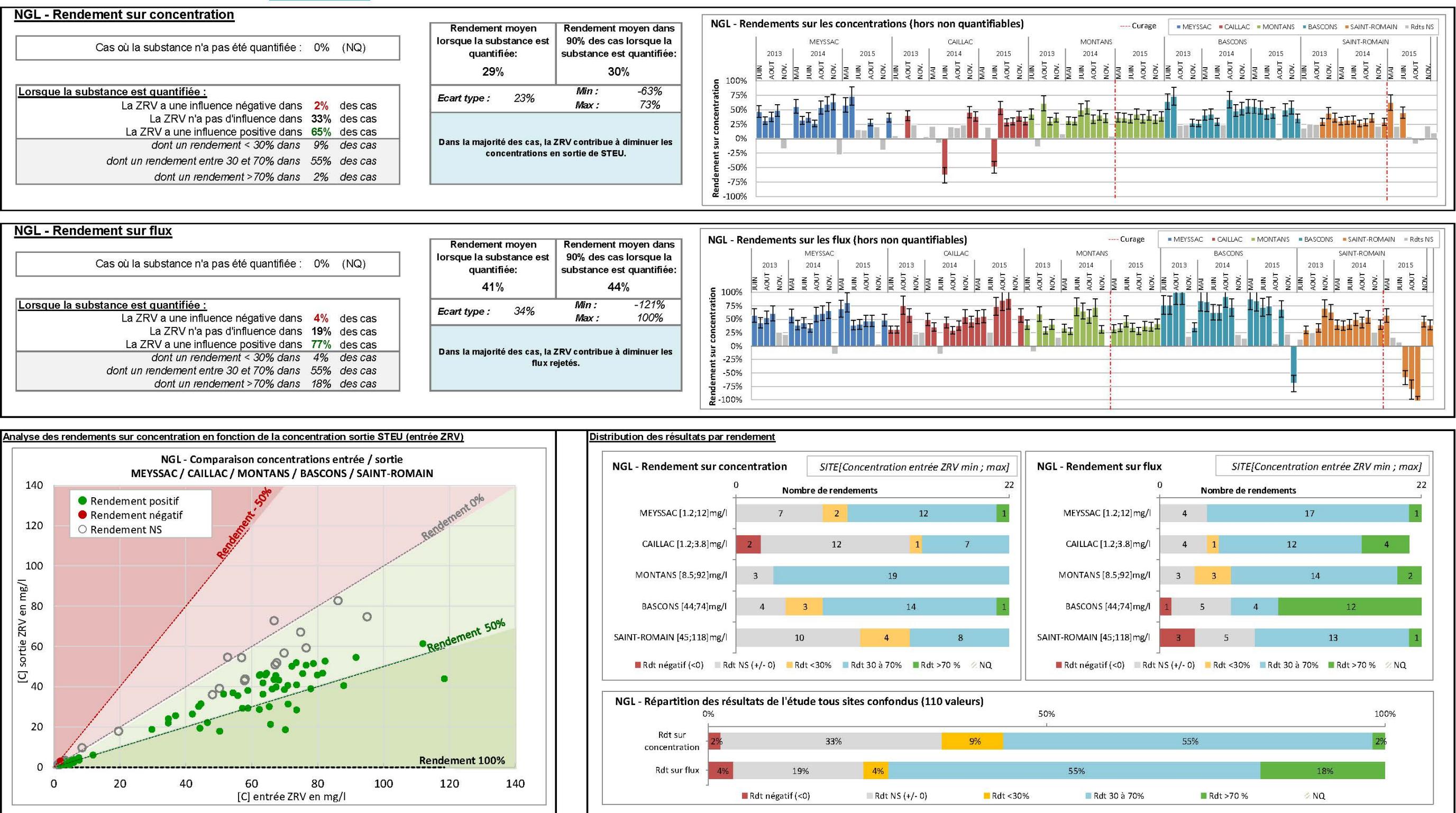
### Tableau de synthèse

MES	[C]entrée ZRV (mg/l)	[C]sortie ZRV (mg/l)	CONCENTRATION								FLUX								Impact global sur les flux rejetés	
			Distribution des rendements sur concentration				Impact global sur les concentrations				Distribution des rendements sur flux				Impact global sur les flux rejetés					
	Min	Max	Min	Max	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/- 0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/- 0)	Rw < 0%	
MEYSSAC	2.3	19	2	18	22	- (0)	5% (1)	50% (11)	- (0)	27% (6)	18% (4)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	14% (3)	50% (11)	- (0)	23% (5)	14% (3)	Diminue le flux journalier rejeté
CAILLAC	2	20	2	26	22	9% (2)	5% (1)	14% (3)	- (0)	36% (8)	36% (8)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	10% (2)	14% (3)	33% (7)	5% (1)	19% (4)	19% (4)	Diminue le flux journalier rejeté
MONTANS	5.8	53	2.2	72	22	- (0)	18% (4)	55% (12)	5% (1)	9% (2)	14% (3)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	18% (4)	59% (13)	- (0)	9% (2)	14% (3)	Diminue le flux journalier rejeté
BASCONS	3.3	67	5.1	33	22	- (0)	14% (3)	41% (9)	- (0)	32% (7)	14% (3)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	41% (9)	32% (7)	- (0)	9% (2)	18% (4)	Diminue le flux journalier rejeté
SAINT-ROMAIN	3.3	34	2	29	22	- (0)	9% (2)	50% (11)	5% (1)	18% (4)	18% (4)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	14% (3)	50% (11)	- (0)	18% (4)	18% (4)	Diminue le flux journalier rejeté
Tous sites	2	67	2	72	110	2% (2)	10% (11)	42% (46)	2% (2)	25% (27)	20% (22)	Diminue la concentration moyenne	109	2% (2)	20% (22)	45% (49)	1% (1)	16% (17)	17% (18)	Diminue le flux journalier rejeté

## Résultat par paramètre :

### NGL

### Agence de l'Eau Adour-Garonne - Suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés



#### Tableau de synthèse

NGL	[C]entrée ZRV (mg/l)		[C]sortie ZRV (mg/l)		CONCENTRATION						FLUX						Impact global sur les flux rejetés					
	Min	Max	Min	Max	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw <30%	Rw NS (+/- 0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw <30%	Rw NS (+/- 0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire		
MEYSSAC	1.2	12	1.2	6.1	22	- (0)	5% (1)	55% (12)	9% (2)	32% (7)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	5% (1)	77% (17)	- (0)	18% (4)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté		
CAILLAC	1.2	3.8	1.2	3.6	22	- (0)	- (0)	3.2% (7)	5% (1)	55% (12)	9% (2)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	- (0)	19% (4)	57% (12)	5% (1)	19% (4)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté		
MONTANS	8.5	92	9.7	55	22	- (0)	- (0)	86% (19)	- (0)	14% (3)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	9% (2)	64% (14)	14% (3)	14% (3)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté		
BASCONS	44	74	18	55	22	- (0)	5% (1)	64% (14)	14% (3)	18% (4)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	55% (12)	18% (4)	- (0)	23% (5)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté		
SAINT-ROMAIN	45	118	32	83	22	- (0)	- (0)	36% (8)	18% (4)	45% (10)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	5% (1)	59% (13)	- (0)	23% (5)	14% (3)	Diminue le flux journalier rejeté		
Tous sites	1.2	118	1.2	83	110	- (0)	2% (2)	55% (60)	9% (10)	32% (35)	2% (2)	Diminue la concentration moyenne	109	- (0)	18% (20)	55% (60)	4% (4)	19% (21)	4% (4)	Diminue le flux journalier rejeté		

## Résultat par paramètre :

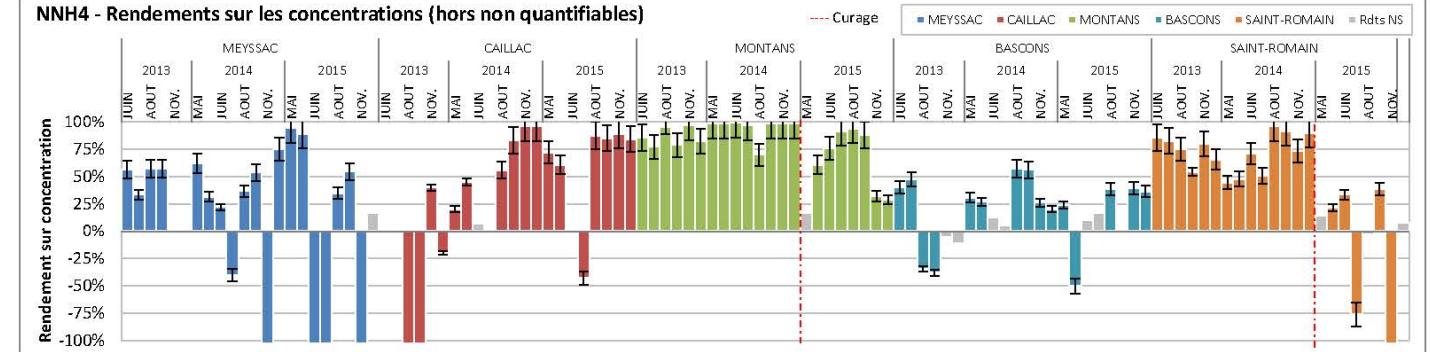
### NNH4

#### NNH4 - Rendement sur concentration

Cas où la substance n'a pas été quantifiée : 5% (NQ)
<b>Lorsque la substance est quantifiée :</b>
La ZRV a une influence négative dans 13% des cas
La ZRV n'a pas d'influence dans 13% des cas
La ZRV a une influence positive dans 74% des cas
dont un rendement < 30% dans 8% des cas
dont un rendement entre 30 et 70% dans 31% des cas
dont un rendement > 70% dans 36% des cas

Rendement moyen lorsque la substance est quantifiée: 7%	Rendement moyen dans 90% des cas lorsque la substance est quantifiée: 42%
Ecart type : 221%	Min : -1660% Max : 100%
Dans la majorité des cas, la ZRV contribue à diminuer les concentrations en sortie de STEU. Pour ce paramètre, des risques de dégradations ponctuelles de la qualité de l'eau sont constatés.	

#### NNH4 - Rendements sur les concentrations (hors non quantifiables)

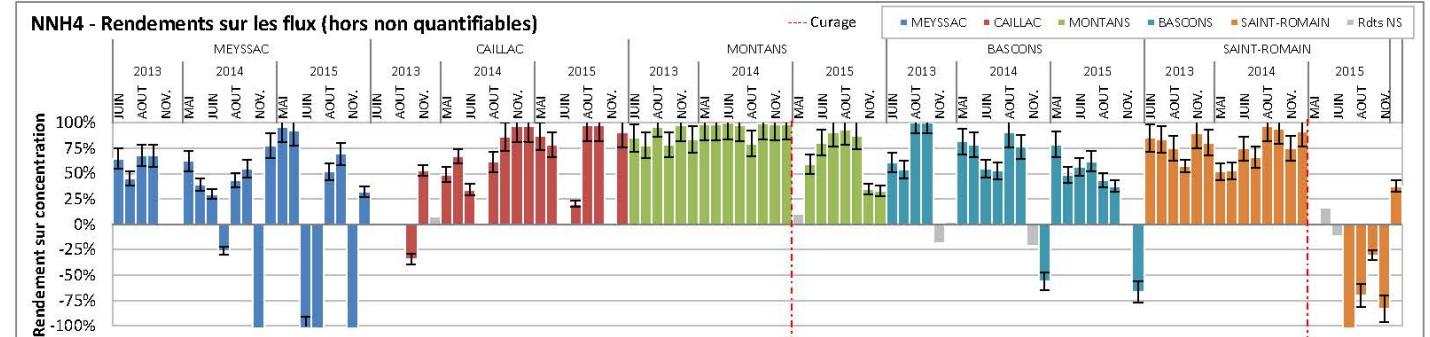


#### NNH4 - Rendement sur flux

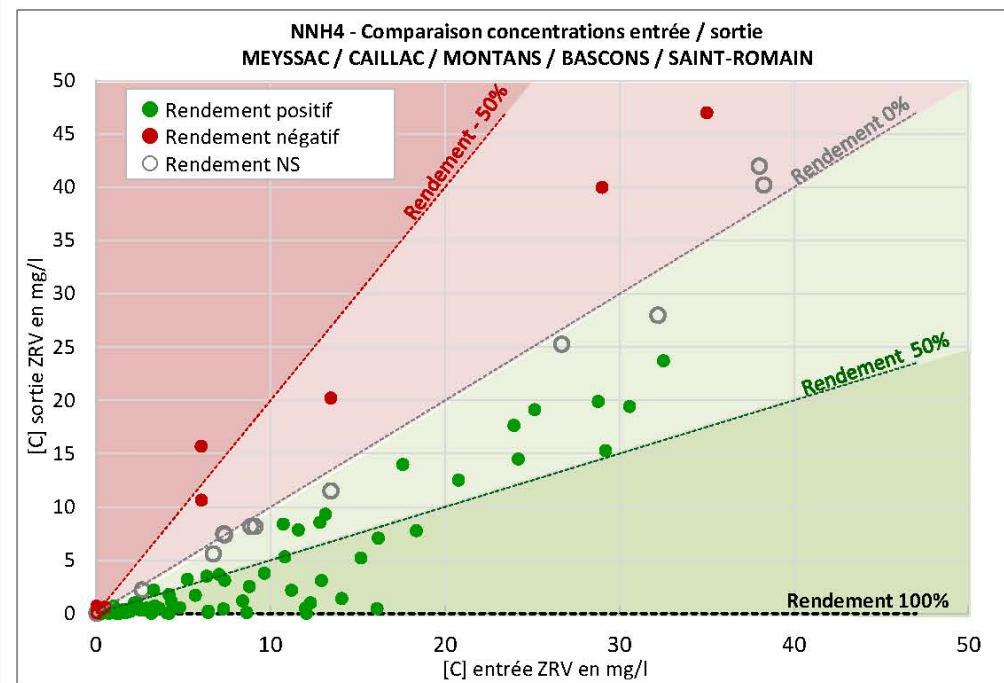
Cas où la substance n'a pas été quantifiée : 6% (NQ)
<b>Lorsque la substance est quantifiée :</b>
La ZRV a une influence négative dans 12% des cas
La ZRV n'a pas d'influence dans 10% des cas
La ZRV a une influence positive dans 79% des cas
dont un rendement < 30% dans 2% des cas
dont un rendement entre 30 et 70% dans 32% des cas
dont un rendement > 70% dans 45% des cas

Rendement moyen lorsque la substance est quantifiée: 24%	Rendement moyen dans 90% des cas lorsque la substance est quantifiée: 54%
Ecart type : 186%	Min : -1308% Max : 100%
Dans la majorité des cas, la ZRV contribue à diminuer les flux rejetés. Pour ce paramètre, des risques de dégradations ponctuelles de la qualité de l'eau sont constatés.	

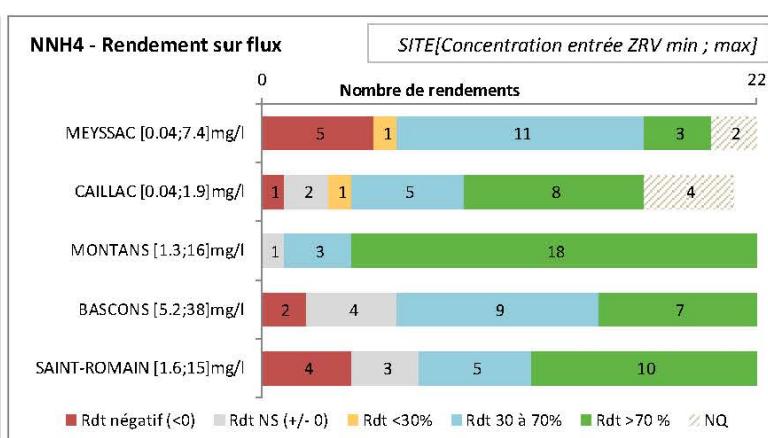
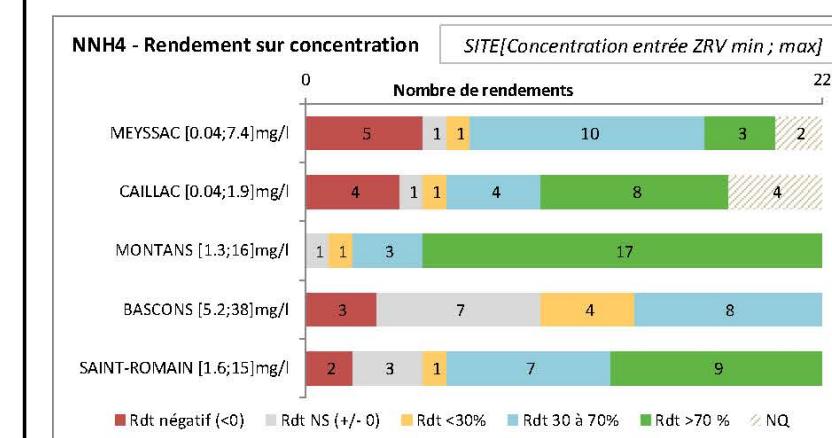
#### NNH4 - Rendements sur les flux (hors non quantifiables)



#### Analyse des rendements sur concentration en fonction de la concentration sortie STEU (entrée ZRV)



#### Distribution des résultats par rendement



#### NNH4 - Répartition des résultats de l'étude tous sites confondus (110 valeurs)



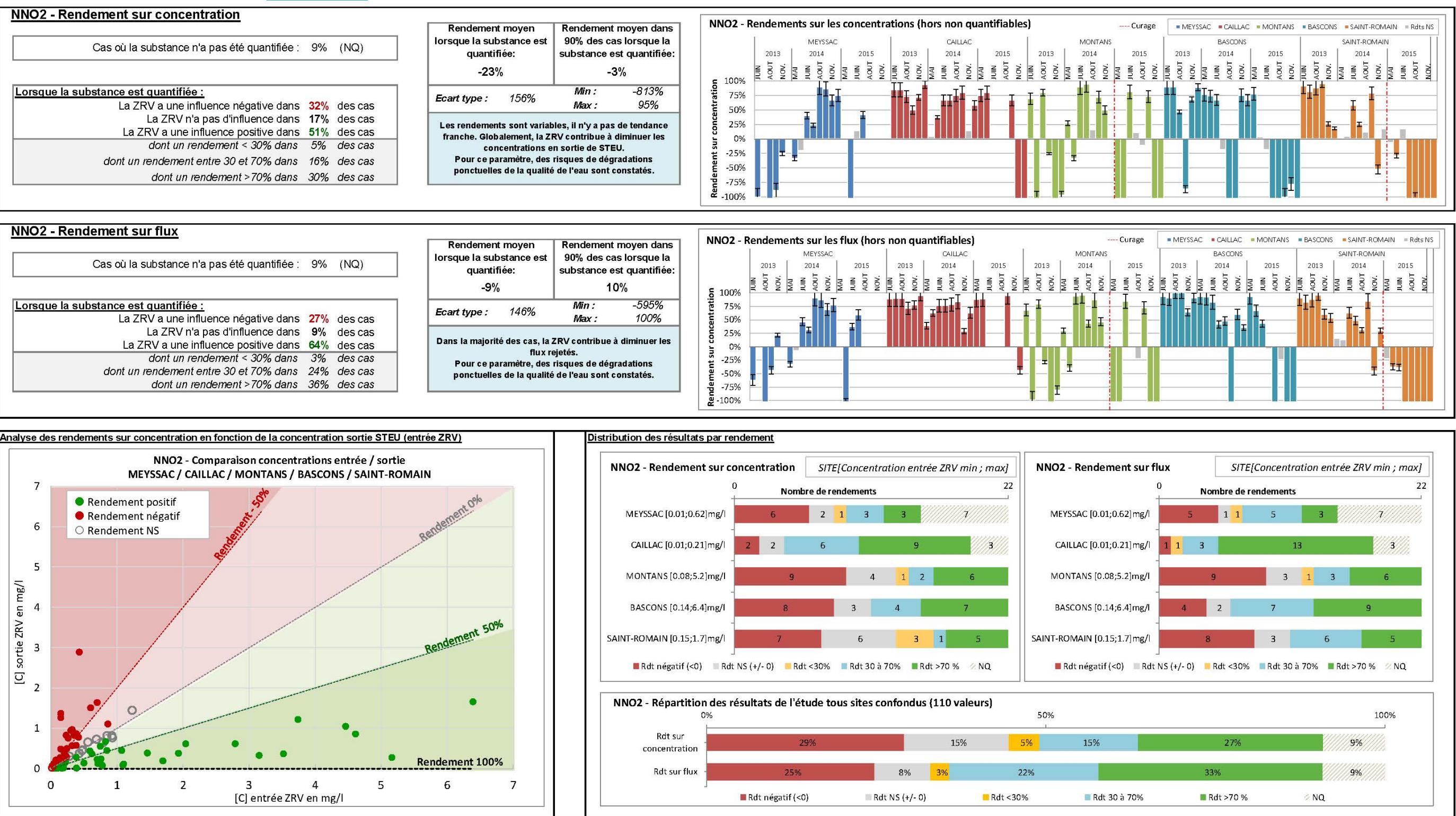
#### Tableau de synthèse

NNH4	[C]entrée ZRV (mg/l)	[C]sortie ZRV (mg/l)	CONCENTRATION							FLUX							Impact global sur les flux rejetés				
			Min	Max	Min	Max	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/-0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/-0)	Rw < 0%
	Min	Max	Min	Max	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/-0)	Rw < 0%										
MEYSSAC	0.04	7.4	0.04	3.1	22	9% (2)	14% (3)	45% (10)	5% (1)	5% (1)	23% (5)	Diminue la concentration moyenne	22	9% (2)	14% (3)	50% (11)	5% (1)	- (0)	23% (5)	Diminue le flux journalier rejeté	
CAILLAC	0.04	1.9	0.04	0.6	22	18% (4)	36% (8)	18% (4)	5% (1)	5% (1)	18% (4)	Diminue la concentration moyenne	21	19% (4)	38% (8)	24% (5)	5% (1)	10% (2)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté	
MONTANS	1.3	16	0.04	9.3	22	- (0)	77% (17)	14% (3)	5% (1)	5% (1)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	82% (18)	14% (3)	- (0)	5% (1)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté	
BASCONS	5.2	38	3.2	47	22	- (0)	- (0)	36% (8)	18% (4)	32% (7)	14% (3)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	32% (7)	41% (9)	- (0)	18% (4)	9% (2)	Diminue le flux journalier rejeté	
SAINT-ROMAIN	1.6	15	0.23	16	22	- (0)	41% (9)	32% (7)	5% (1)	14% (3)	9% (2)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	45% (10)	23% (5)	- (0)	14% (3)	18% (4)	Diminue le flux journalier rejeté	
Tous sites	0.04	38	0.04	47	110	6% (6)	34% (37)	29% (32)	7% (8)	12% (13)	13% (14)	Diminue la concentration moyenne	109	6% (6)	42% (46)	30% (33)	2% (2)	9% (10)	11% (12)	Diminue le flux journalier rejeté	

## Résultat par paramètre :

### NNO2

#### Agence de l'Eau Adour-Garonne - Suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés



## Résultat par paramètre :

### NNO3

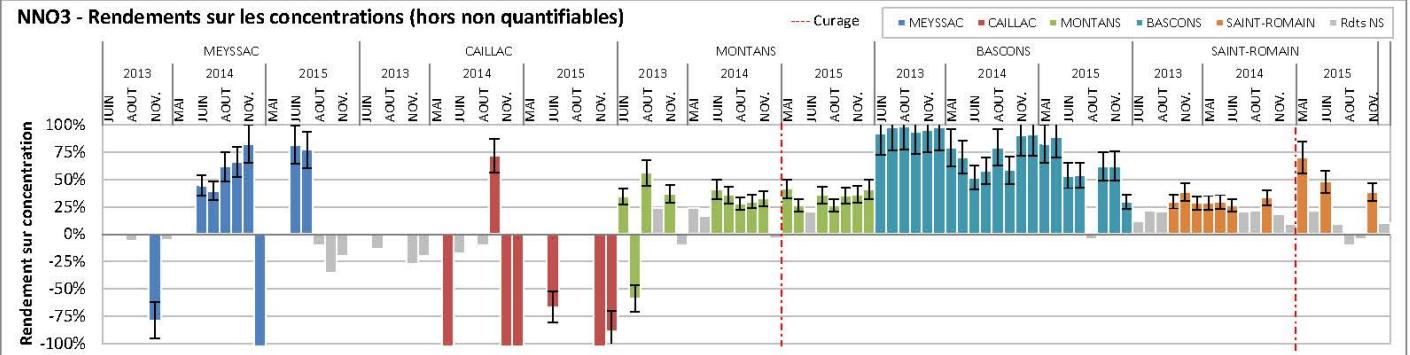
### Agence de l'Eau Adour-Garonne - Suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés

#### NNO3 - Rendement sur concentration

Cas où la substance n'a pas été quantifiée : 16% (NQ)	
<b>Lorsque la substance est quantifiée :</b>	
La ZRV a une influence négative dans 10% des cas	
La ZRV n'a pas d'influence dans 32% des cas	
La ZRV a une influence positive dans 59% des cas	
dont un rendement < 30% dans 10% des cas	
dont un rendement entre 30 et 70% dans 29% des cas	
dont un rendement > 70% dans 20% des cas	

Rendement moyen lorsque la substance est quantifiée:	Rendement moyen dans 90% des cas lorsque la substance est quantifiée:
15%	26%
Ecart type : 86%	Min : -519% Max : 99%
Les rendements sont variables, il n'y a pas de tendance franche. Globalement, la ZRV contribue à diminuer les concentrations en sortie de STEU.	

#### NNO3 - Rendements sur les concentrations (hors non quantifiables)

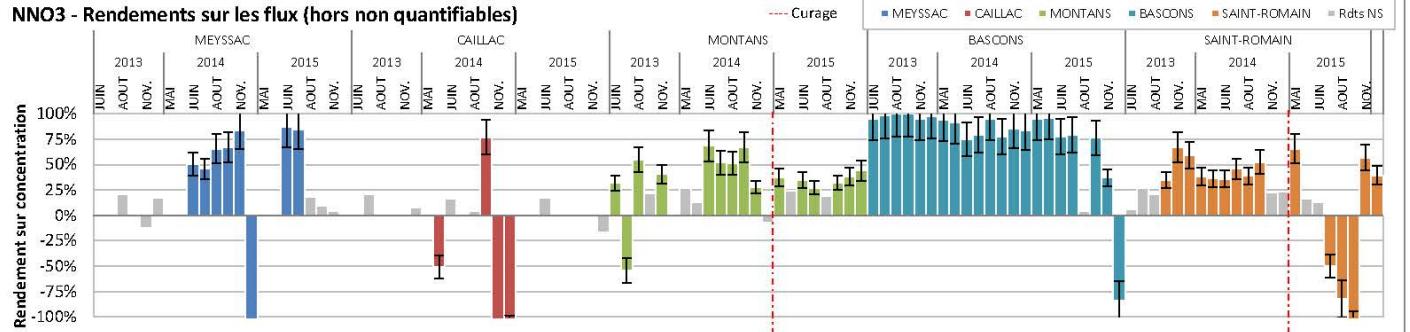


#### NNO3 - Rendement sur flux

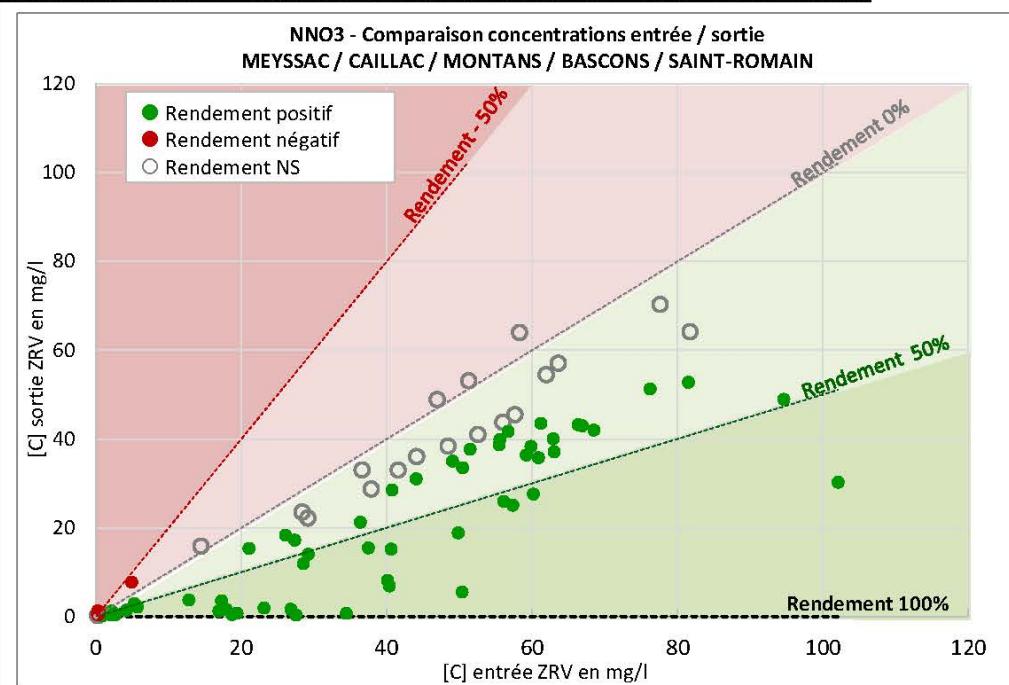
Cas où la substance n'a pas été quantifiée : 17% (NQ)	
<b>Lorsque la substance est quantifiée :</b>	
La ZRV a une influence négative dans 10% des cas	
La ZRV n'a pas d'influence dans 31% des cas	

Rendement moyen lorsque la substance est quantifiée:	Rendement moyen dans 90% des cas lorsque la substance est quantifiée:
29%	37%
Ecart type : 73%	Min : -456% Max : 100%
Les rendements sont variables, il n'y a pas de tendance franche. Globalement, la ZRV contribue à diminuer les flux rejetés.	

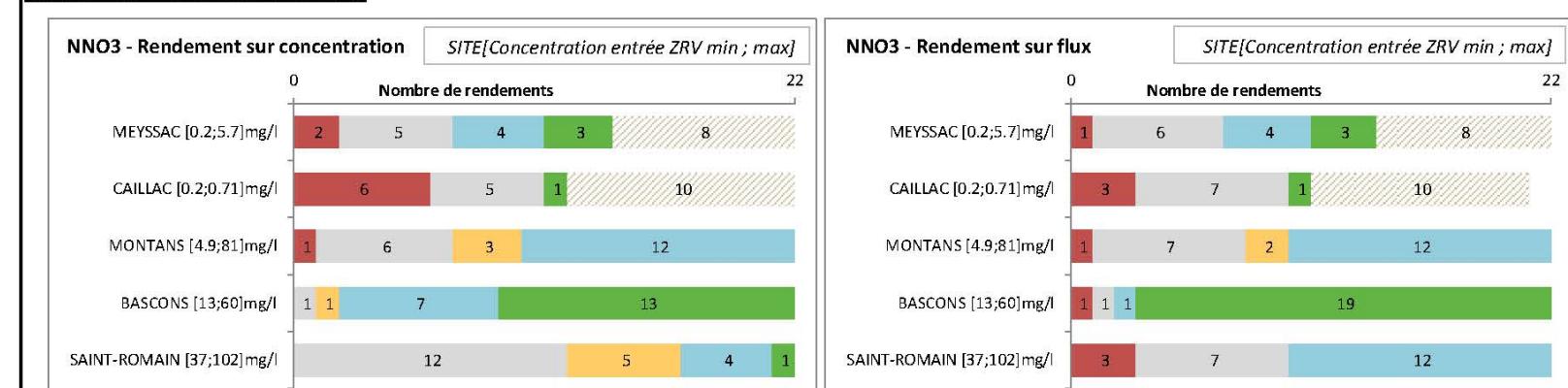
#### NNO3 - Rendements sur les flux (hors non quantifiables)



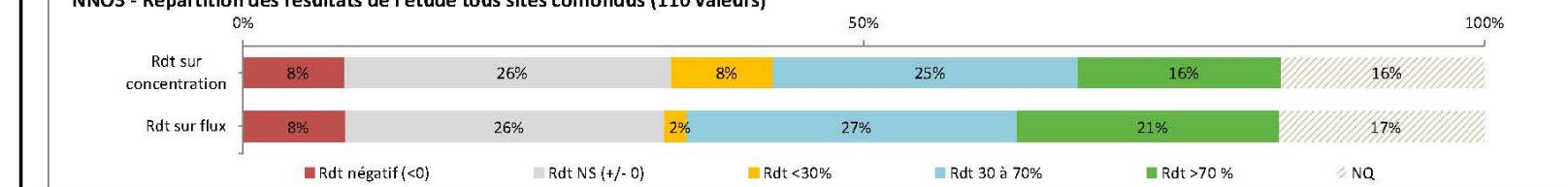
#### Analyse des rendements sur concentration en fonction de la concentration sortie STEU (entrée ZRV)



#### Distribution des résultats par rendement



#### NNO3 - Répartition des résultats de l'étude tous sites confondus (110 valeurs)



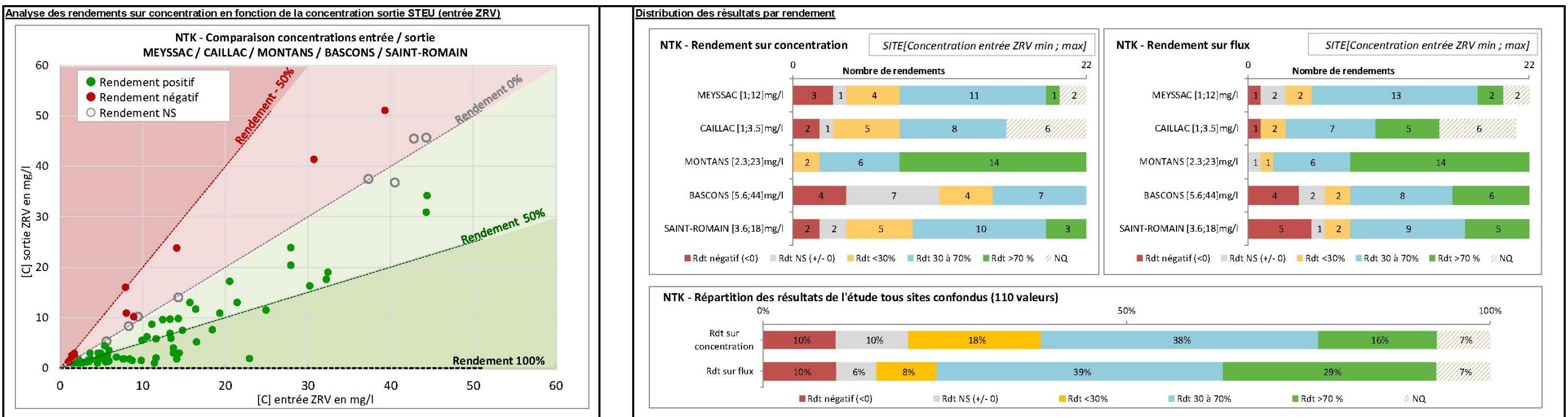
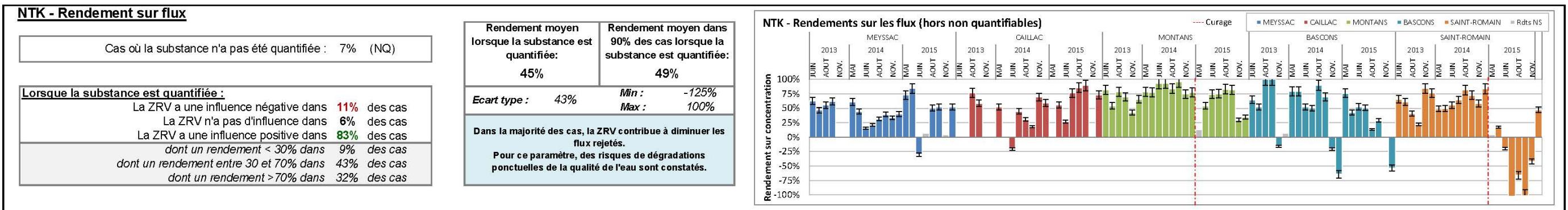
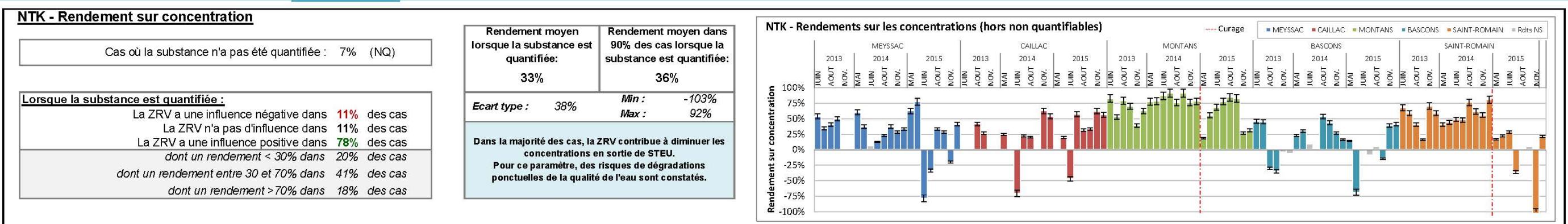
#### Tableau de synthèse

NNO3	[C] entrée ZRV (mg/l)		[C] sortie ZRV (mg/l)		CONCENTRATION								FLUX							
	Distribution des rendements sur concentration		Impact global sur les concentrations								Distribution des rendements sur flux		Impact global sur les flux rejetés							
	Min	Max	Min	Max	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/- 0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/- 0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire
MEYSSAC	0.2	5.7	0.2	2.9	22	36% (8)	14% (3)	18% (4)	- (0)	23% (5)	9% (2)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	36% (8)	14% (3)	18% (4)	- (0)	27% (6)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les flux
CAILLAC	0.2	0.71	0.2	0.87	22	45% (10)	5% (1)	- (0)	- (0)	23% (5)	27% (6)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	48% (10)	5% (1)	- (0)	- (0)	33% (7)	14% (3)	Peu ou pas d'influence sur les flux
MONTANS	4.9	81	7.8	53	22	- (0)	55% (12)	14% (3)	27% (6)	5% (1)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	- (0)	55% (12)	9% (2)	32% (7)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté	
BASCONS	13	60	0.35	49	22	- (0)	59% (13)	32% (7)	5% (1)	5% (1)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	86% (19)	5% (1)	- (0)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté	
SAINT-ROMAIN	37	102	29	70	22	- (0)	5% (1)	18% (4)	23% (5)	55% (12)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	- (0)	- (0)	55% (12)	- (0)	32% (7)	14% (3)	Diminue le flux journalier rejeté
Tous sites	0.2	102	0.2	70	110	17% (18)	17% (18)	25% (27)	8% (9)	27% (29)	8% (9)	Diminue la concentration moyenne	109	17% (18)	21% (23)	27% (29)	2% (2)	26% (28)	8% (9)	Diminue le flux journalier rejeté

## Résultat par paramètre :

### NTK

### Agence de l'Eau Adour-Garonne - Suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés



#### Tableau de synthèse

NTK	[C]entrée ZRV (mg/l)	[C]sortie ZRV (mg/l)	CONCENTRATION							FLUX							Impact global sur les concentrations						
			Min	Max	Min	Max	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/- 0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/- 0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	
MEYSSAC	1	12	1	5.8	22	9% (2)	5% (1)	50% (11)	18% (4)	5% (1)	14% (3)	Diminue la concentration moyenne	22	9% (2)	9% (2)	59% (13)	9% (2)	9% (2)	5% (1)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté		
CAILLAC	1	3.5	1	3	22	27% (6)	- (0)	36% (8)	23% (5)	5% (1)	9% (2)	Diminue la concentration moyenne	21	29% (6)	24% (5)	33% (7)	10% (2)	- (0)	5% (1)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté		
MONTANS	2.3	23	1	9.8	22	- (0)	64% (14)	27% (6)	9% (2)	- (0)	- (0)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	64% (14)	27% (6)	5% (1)	5% (1)	- (0)	Diminue le flux journalier rejeté			
BASCONS	5.6	44	5.3	51	22	- (0)	- (0)	32% (7)	18% (4)	32% (7)	18% (4)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	27% (6)	36% (8)	9% (2)	9% (2)	18% (4)	Diminue le flux journalier rejeté			
SAINT-ROMAIN	3.6	18	1.8	16	22	- (0)	14% (3)	45% (10)	23% (5)	9% (2)	9% (2)	Diminue la concentration moyenne	22	- (0)	23% (5)	41% (9)	9% (2)	5% (1)	23% (5)	Diminue le flux journalier rejeté			
Tous sites	1	44	1	51	110	7% (8)	17% (18)	39% (42)	18% (20)	10% (11)	10% (11)	Diminue la concentration moyenne	109	7% (8)	29% (32)	39% (43)	8% (9)	6% (6)	10% (11)	Diminue le flux journalier rejeté			

## Résultat par paramètre :

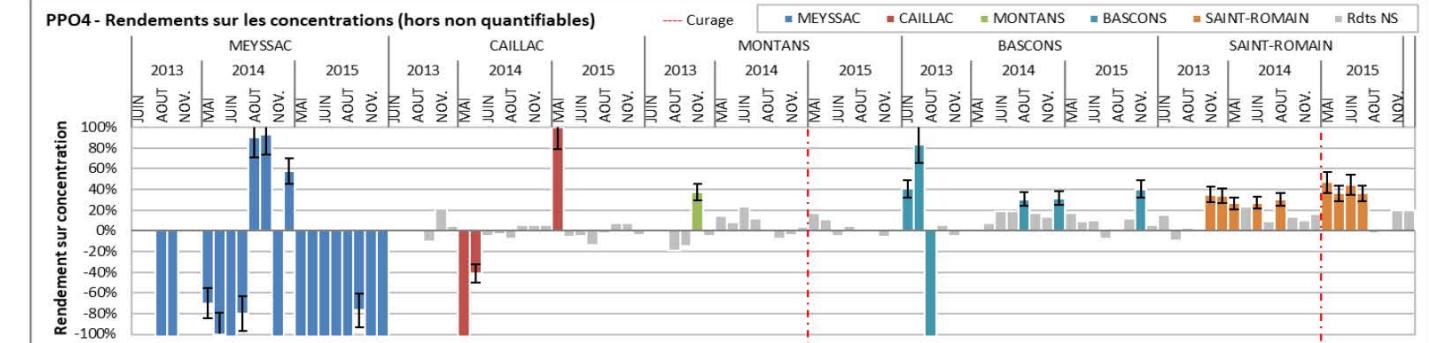
### PPO4

### Agence de l'Eau Adour-Garonne - Suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés

#### PPO4 - Rendement sur concentration

Cas où la substance n'a pas été quantifiée : 3% (NQ)
<b>Lorsque la substance est quantifiée :</b>
La ZRV a une influence négative dans 18% des cas
La ZRV n'a pas d'influence dans 63% des cas
La ZRV a une influence positive dans 19% des cas
dont un rendement < 30% dans 2% des cas
dont un rendement entre 30 et 70% dans 13% des cas
dont un rendement >70% dans 4% des cas

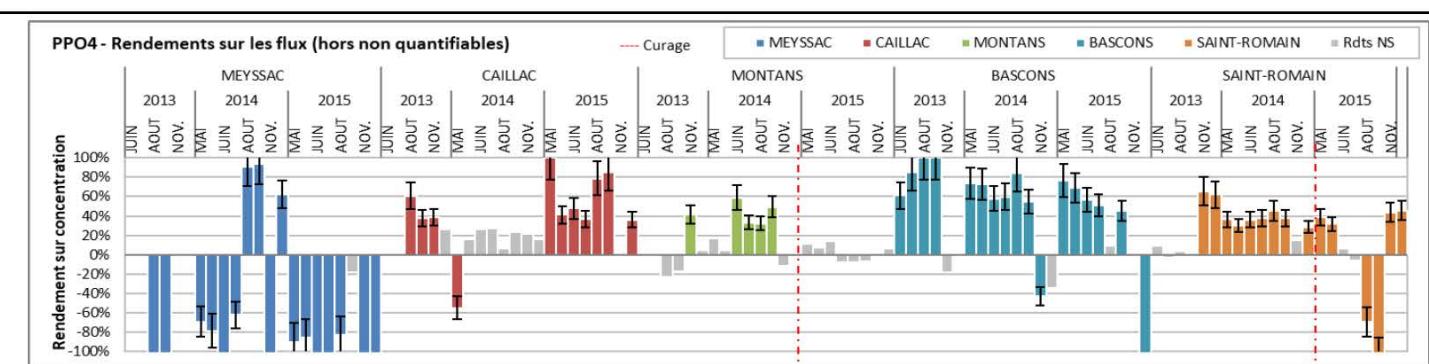
Rendement moyen lorsque la substance est quantifiée:	Rendement moyen dans 90% des cas lorsque la substance est quantifiée:
-258%	-22%
Ecart type : 2145%	Min : -21000% Max : 100%
Dans la majorité des cas, la ZRV a peu d'impact sur le paramètre (rendement non significatif ou non quantifiable). Pour ce paramètre, des risques de dégradations ponctuelles de la qualité de l'eau sont constatés.	



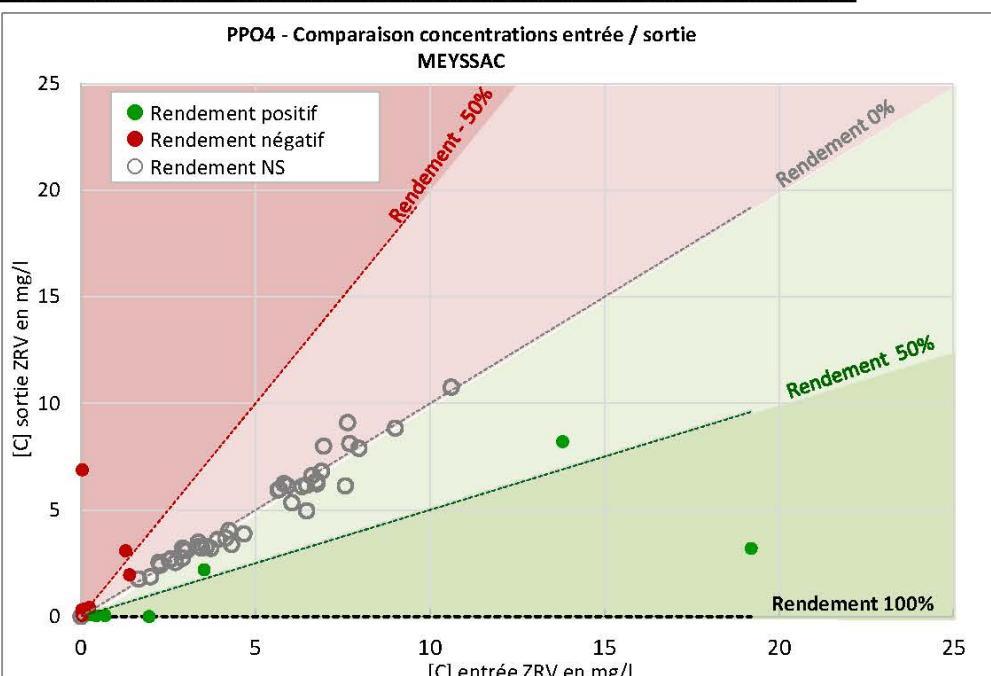
#### PPO4 - Rendement sur flux

Cas où la substance n'a pas été quantifiée : 3% (NQ)
<b>Lorsque la substance est quantifiée :</b>
La ZRV a une influence négative dans 19% des cas
La ZRV n'a pas d'influence dans 34% des cas
La ZRV a une influence positive dans 46% des cas
dont un rendement < 30% dans 1% des cas
dont un rendement entre 30 et 70% dans 33% des cas
dont un rendement >70% dans 12% des cas

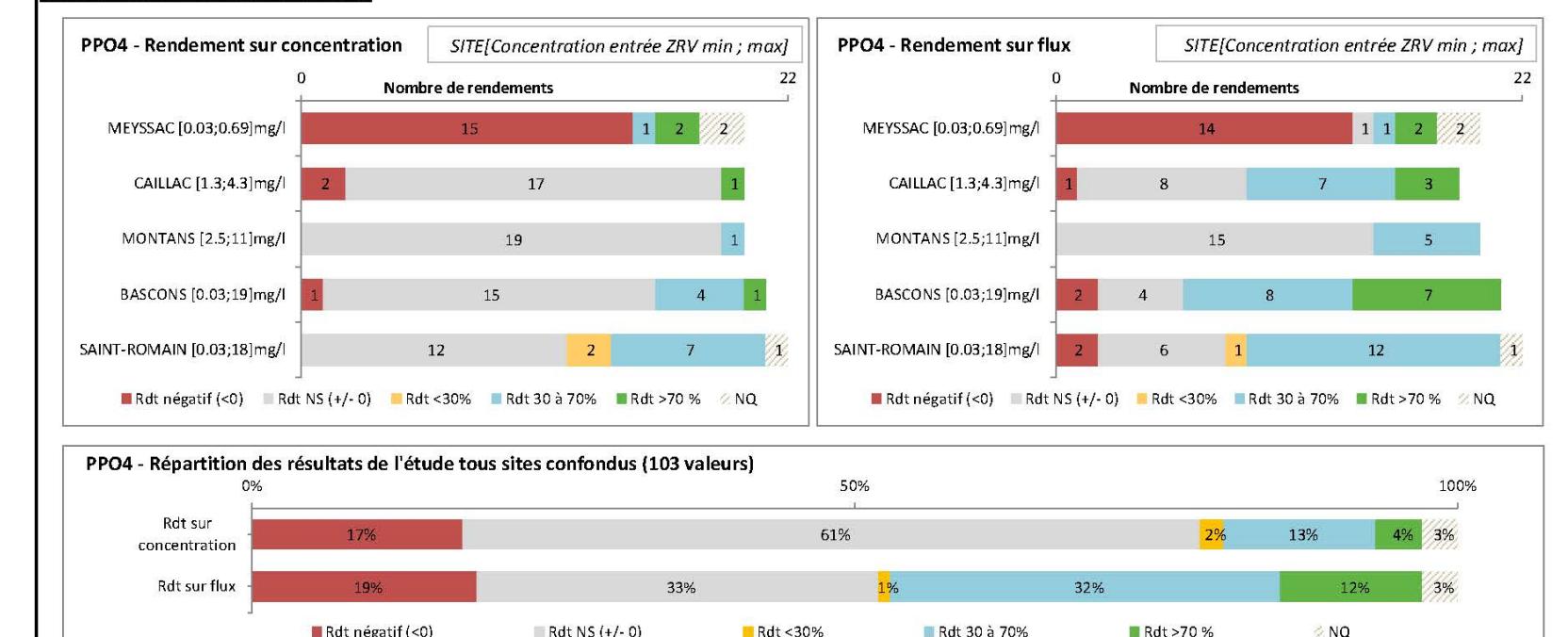
Rendement moyen lorsque la substance est quantifiée:	Rendement moyen dans 90% des cas lorsque la substance est quantifiée:
-11%	4%
Ecart type : 123%	Min : -599% Max : 100%
Les rendements sont variables, il n'y a pas de tendance franche. Globalement, la ZRV contribue à diminuer les flux rejetés. Pour ce paramètre, des risques de dégradations ponctuelles de la qualité de l'eau sont constatés.	



#### Analyse des rendements sur concentration en fonction de la concentration sortie STEU (entrée ZRV)



#### Distribution des résultats par rendement



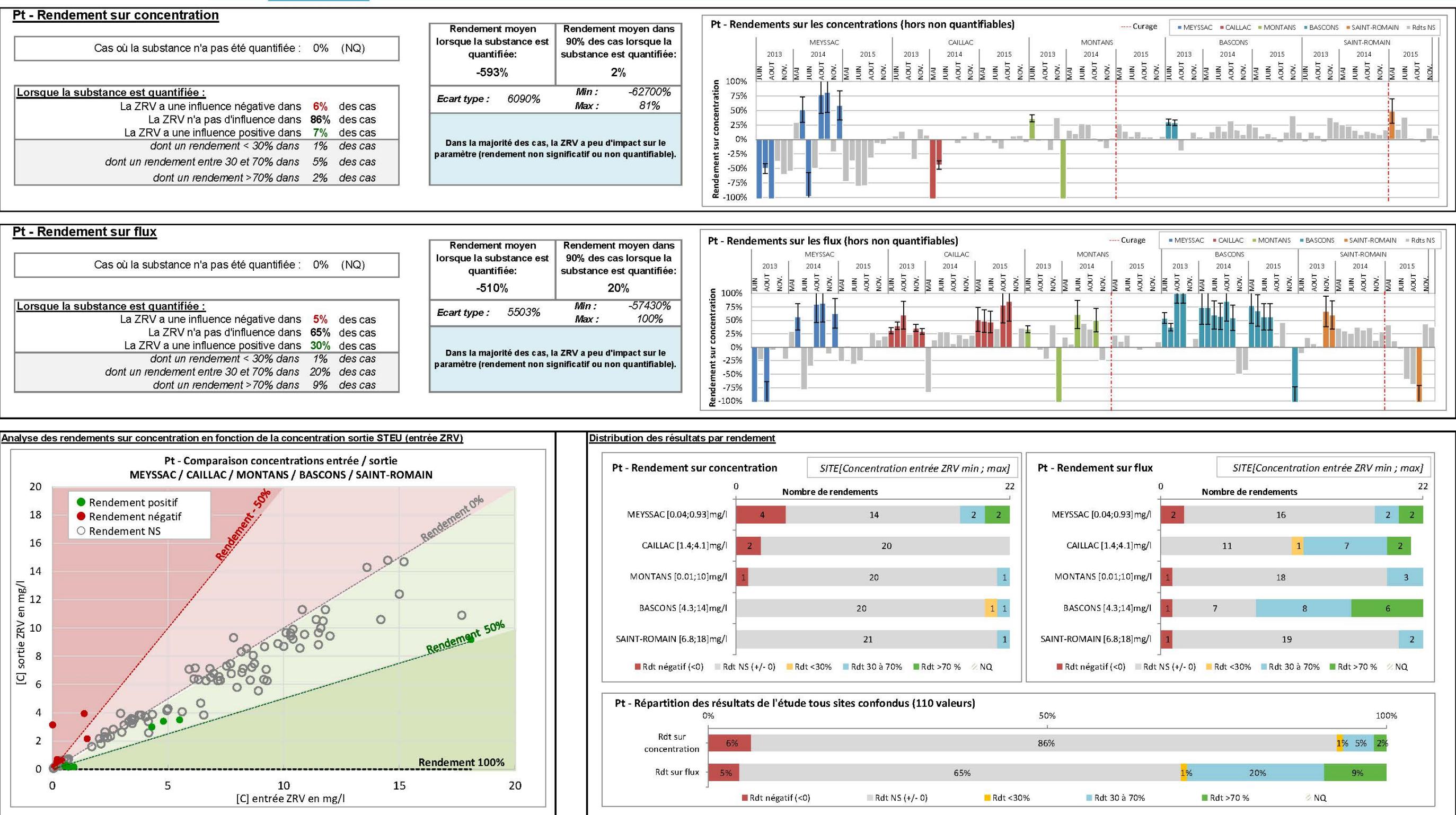
#### Tableau de synthèse

PPO4	CONCENTRATION										FLUX									
	Distribution des rendements sur concentration				Impact global sur les concentrations						Distribution des rendements sur flux				Impact global sur les flux rejetés					
	[C]entrée ZRV (mg/l)	[C]sortie ZRV (mg/l)	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/- 0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw < 30%	Rw NS (+/- 0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire		
	Min	Max	Min	Max																
MEYSSAC	0.03	0.69	0.03	0.42	20	10% (2)	10% (2)	5% (1)	- (0)	- (0)	75% (15)	Augmente la concentration moyenne	20	10% (2)	10% (2)	5% (1)	- (0)	5% (1)	70% (14)	Augmente le flux journalier rejeté
CAILLAC	1.3	4.3	1.8	4	20	- (0)	5% (1)	- (0)	- (0)	85% (17)	10% (2)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	19	- (0)	16% (3)	37% (7)	- (0)	42% (8)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté
MONTANS	2.5	11	2.2	11	20	- (0)	- (0)	5% (1)	- (0)	95% (19)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	20	- (0)	25% (5)	- (0)	75% (15)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les flux	
BASCONS	0.03	19	3.2	12	21	- (0)	5% (1)	19% (4)	- (0)	71% (15)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	- (0)	33% (7)	38% (8)	- (0)	19% (4)	10% (2)	Diminue le flux journalier rejeté
SAINT-ROMAIN	0.03	18	0.03	14	22	5% (1)	- (0)	32% (7)	9% (2)	55% (12)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	5% (1)	- (0)	55% (12)	5% (1)	27% (6)	9% (2)	Diminue le flux journalier rejeté
Tous sites	0.03	19	0.03	14	103	3% (3)	4% (4)	13% (13)	2% (2)	61% (62)	18% (18)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	102	3% (3)	12% (12)	32% (33)	1% (1)	33% (34)	19% (19)	Diminue le flux journalier rejeté

## Résultat par paramètre :

Pt

Agence de l'Eau Adour-Garonne - Suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés



### Tableau de synthèse

Pt	[C]entrée ZRV (mg/l)		[C]sortie ZRV (mg/l)		CONCENTRATION						FLUX						Impact global sur les flux rejetés					
	Min	Max	Min	Max	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw <30%	Rw NS (+/- 0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire	Nbre de valeurs	NQ	Rw ≥ 70%	70% < Rw ≥ 30%	0% < Rw <30%	Rw NS (+/- 0)	Rw < 0%	Tendance majoritaire		
MEYSSAC	0.04	0.93	0.06	0.75	22	- (0)	9% (2)	9% (2)	- (0)	64% (14)	18% (4)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	- (0)	9% (2)	9% (2)	- (0)	73% (16)	9% (2)	Peu ou pas d'influence sur les flux		
CAILLAC	1.4	4.1	1.6	4	22	- (0)	- (0)	- (0)	- (0)	91% (20)	9% (2)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	21	- (0)	10% (2)	33% (7)	5% (1)	52% (11)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les flux		
MONTANS	0.01	10	2.6	9.9	22	- (0)	- (0)	5% (1)	- (0)	91% (20)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	- (0)	- (0)	14% (3)	- (0)	82% (18)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les flux		
BASCONS	4.3	14	3	14	22	- (0)	- (0)	5% (1)	5% (1)	91% (20)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	- (0)	27% (6)	36% (8)	- (0)	32% (7)	5% (1)	Diminue le flux journalier rejeté		
SAINT-ROMAIN	6.8	18	5.6	15	22	- (0)	- (0)	5% (1)	- (0)	95% (21)	- (0)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	22	- (0)	- (0)	9% (2)	- (0)	86% (19)	5% (1)	Peu ou pas d'influence sur les flux		
Tous sites	0.01	18	0.06	15	110	- (0)	2% (2)	5% (5)	1% (1)	86% (94)	6% (7)	Peu ou pas d'influence sur les [C]	109	- (0)	9% (10)	20% (22)	1% (1)	65% (71)	5% (5)	Peu ou pas d'influence sur les flux		

**ANNEXE B4 : Résultat des calculs  
d'impact théorique sur la qualité des  
masses d'eau réceptrices**

## Calculs d'impact théorique sur la qualité des masses d'eau réceptrices

MEYSSAC		MEYSSAC							MEYSSAC		Campagne 02 - AOUT 2013						
ANNEE 2013		Campagne 02 - AOUT 2013							Campagne 03 - NOVEMBRE 2013		Campagne 03 - NOVEMBRE 2013						
Parmètres	Unités	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	Milieu amont	Milieu aval Mesuré	Théo-rique avec ZRV	Théo-rique sans ZRV	Paramètres	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	Milieu amont	Milieu aval Mesuré	Théo-rique avec ZRV	Théo-rique sans ZRV	
pH	-	7.9	8.2	8.1	7.7	8.2	8.0		pH	7.7	7.9	8.0	7.9	8.0	7.9		
MES	mg/l	9	6	7	12	6	8.2		MES	5	2	2	3	2	2.9		
DCO	mg O2/l	40	36	30	30	33	35.2		DCO	30	30	30	30	30	30.0		
DBO5	mg O2/l	3.5	3.2	3.0	3.0	3.1	3.3		DBO5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0		
NO3	mg NO3/l	1.00	1.03	10.30	3.64	5.46	5.26		NO3	1.00	1.42	6.50	4.89	5.58	5.19		
NO2	mg NO2/l	0.08	0.20	0.10	0.49	0.15	0.09		NO2	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04		
NH4	mg NH4/l	7.43	3.16	0.05	1.03	1.67	4.05		NH4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05		
NTK	mg N/l	8.75	4.65	1.00	1.90	2.91	5.20		NTK	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
COD	mg C/l	/	/	4.32	8.45	/	/		COD	/	/	2.43	3.19	/	/		
PO4	mg PO4/l	0.12	0.84	0.10	0.49	0.48	0.11		PO4	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		
Pt	mg P/l	0.27	0.51	0.05	0.30	0.29	0.17		Pt	0.04	0.07	0.03	0.03	0.03	0.03		
Ecoli	NPP/100 ml	16000	42700	310	2800	22456	8821		Ecoli	26500	1100	38	450	230	6354	↗	
IBD	/20	/	/	15.60	10.80				IBD	/	/	/	/				
Débit	m3/j	459.50	424.00	/	/				Débit	996.50	702.00	/	/				
Débit	m3/h	/	/	16.15	45.90				Débit	/	/	132.45	173.90				
Classement milieu récepteur mesuré :		Classement théorique en aval:							Classement milieu récepteur mesuré :		Classement théorique en aval:						
Amont		Aval ZRV		Avec ZRV		Sans ZRV		Amont		Aval ZRV		Avec ZRV		Sans ZRV			
Bon		Moyen		Moyen		Médiocre		Bon		Bon		Bon		Bon			

MEYSSAC		MEYSSAC							MEYSSAC		Campagne 06 - AOUT 2014						
ANNEE 2014		Campagne 06 - AOUT 2014							Campagne 07 - NOVEMBRE 2014		Campagne 07 - NOVEMBRE 2014						
Parmètres	Unités	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	Milieu amont	Milieu aval Mesuré	Théo-rique avec ZRV	Théo-rique sans ZRV	Paramètres	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	Milieu amont	Milieu aval Mesuré	Théo-rique avec ZRV	Théo-rique sans ZRV	
pH	-	7.8	7.8	8.1	7.7	7.9	7.8		pH	8.0	8.2	7.6	7.7	8.1	8.0		
MES	mg/l	8	4	22	8	7	10.2		MES	5	2	15	3	3	5.9	↗	
DCO	mg O2/l	30	31	30	30	30.4	30		DCO	32	30	30	30	30	31.4	↗	
DBO5	mg O2/l	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0		DBO5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0		
NO3	mg NO3/l	21.90	7.96	5.23	5.72	7.41	18.8		NO3	6.50	3.93	1.00	3.30	3.72	6.1		
NO2	mg NO2/l	0.56	0.06	0.05	0.04	0.06	0.46		NO2	0.11	0.04	0.04	0.04	0.04	0.11	↗	
NH4	mg NH4/l	0.16	0.09	0.60	0.80	0.19	0.24		NH4	0.17	0.44	0.06	0.06	0.41	0.16		
NTK	mg N/l	1.65	1.15	3.00	3.00	1.52	1.90		NTK	1.45	1.00	1.00	1.30	1.00	1.42	↗	
COD	mg C/l	/	/	2.11	5.87	/	/		COD	/	/	/	/	/	/		
PO4	mg PO4/l	1.71	0.14	0.10	0.10	0.13	1.40		PO4	0.40	0.34	0.22	0.29	0.33	0.38		
Pt	mg P/l	0.80	0.16	0.10	0.10	0.15	0.67		Pt	0.38	0.24	0.13	0.22	0.23	0.36		
Ecoli	NPP/100 ml	875	275	760	480	372	853		Ecoli	35000	2810	15	1100	2613	32743		
IBD	/20	/	/	17.00	14.00				IBD	/	/	/	/				
Débit	m3/j	290.00	270.00	/	/				Débit	341.00	311.00	/	/				
Débit	m3/h	/	/	2.80	16.10				Débit	/	/	0.98	19.00				
Classement milieu récepteur mesuré :		Classement théorique en aval:							Classement milieu récepteur mesuré :		Classement théorique en aval:						
Amont		Aval ZRV		Avec ZRV		Sans ZRV		Amont		Aval ZRV		Avec ZRV		Sans ZRV			
Moyen		Moyen		Moyen		Médiocre		Bon		Moyen		Moyen		Moyen			

MEYSSAC		MEYSSAC							MEYSSAC							
ANNEE 2015		Campagne 10 - AOUT 2015							Campagne 11 - NOVEMBRE 2015							
Parmètres	Unités	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	Milieu amont	Milieu aval Mesuré	Théo-rique avec ZRV	Théo-rique sans ZRV	Paramètres	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	Milieu amont	Milieu aval Mesuré	Théo-rique avec ZRV	Théo-rique sans ZRV


<tbl\_r cells="3" ix="2

## Calculs d'impact théorique sur la qualité des masses d'eau réceptrices

MONTANS		MONTANS							MONTANS		Campagne 02 - AOUT 2013						
ANNEE 2013		Campagne 02 - AOUT 2013							Campagne 03 - NOVEMBRE 2013		Campagne 03 - NOVEMBRE 2013						
Parmètres	Unités	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	Millieu amont	Millieu aval Mesuré	Théo-rique avec ZRV	Théo-rique sans ZRV	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	Millieu amont	Millieu aval Mesuré	Théo-rique avec ZRV	Théo-rique sans ZRV		
pH	-	7.0	7.6	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	6.9	7.4	8.0	8.1	8.0	8.0			
MES	mg/l	14	6	45	47	44	44	44.1	19	12	100	76	99	99.4			
DCO	mg O2/l	87	38	30	30	30	30	31.7	35	31	30	30	30	30.0			
DBO5	mg O2/l	6.0	3.0	/	/	/	/	/	3.3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
NO3	mg NO3/l	191.50	104.65	16.70	17.70	19.36	21.83		92.40	73.20	42.90	42.80	43.12	43.29			
NO2	mg NO2/l	3.57	1.12	0.23	0.04	0.26	0.33		0.30	0.69	0.26	0.25	0.26	0.26			
NH4	mg NH4/l	9.87	0.78	0.05	0.05	0.07	0.34		2.45	0.31	0.13	2.20	0.13	0.15			
NTK	mg N/l	9.90	2.30	1.00	1.10	1.04	1.26		3.70	1.65	1.50	1.80	1.50	1.52			
COD	mg C/l	/	/	8.26	7.08	/	/		/	/	5.51	5.47	/	/			
PO4	mg PO4/l	22.35	26.20	0.15	0.88	0.94	0.80		9.27	7.41	0.18	0.23	0.23	0.25			
Pt	mg P/l	8.00	8.82	0.12	0.34	0.38	0.35		2.08	2.86	0.14	0.18	0.16	0.16			
Ecoli	NPP/100 ml	3950	4300	3400	1900	3427	3416		414935	8550	3500	8400	3537	6725			
IBD	/20	/	/	14.50	14.00					/	/	/	/				
Débit	m3/j	152.50	157.00	/	/				267.50	248.00	/	/					
Débit	m3/h	/	/	210.00	262.50					/	1411.00	1591.50					

## Classement milieu récepteur mesuré :

Amont	Aval ZRV
Moyen	Moyen

## Classement théorique en aval:

Avec ZRV	Sans ZRV
Moyen	Moyen

## Classement milieu récepteur mesuré :

Amont	Aval ZRV
Moyen	Médiocre

## Classement théorique en aval:

Avec ZRV	Sans ZRV
Moyen	Moyen

MONTANS		MONTANS							MONTANS		Campagne 06 - AOUT 2014						
ANNEE 2014		Campagne 06 - AOUT 2014							Campagne 07 - NOVEMBRE 2014		Campagne 07 - NOVEMBRE 2014						
Parmètres	Unités	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	Millieu amont	Millieu aval Mesuré	Théo-rique avec ZRV	Théo-rique sans ZRV	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	Millieu amont	Millieu aval Mesuré	Théo-rique avec ZRV	Théo-rique sans ZRV		
pH	-	6.5	7.6	8.3	8.2	8.3	8.2	8.2	6.4	7.6	7.9	7.9	7.9	7.8			
MES	mg/l	18	13	5	7	5	5	5.9	27	15	10	9	10	11.4			
DCO	mg O2/l	72	42	30	30	30	30.4	32	82	31	30	30	30	34.2			
DBO5	mg O2/l	5.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.1	5.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.2			
NO3	mg NO3/l	246.00	174.50	20.10	33.50	25.05	33.3		282.50	231.00	7.87	19.90	27.18	30.5			
NO2	mg NO2/l	1.13	0.49	0.04	0.07	0.05	0.10		0.41	0.31	0.33	0.46	0.33	0.34			
NH4	mg NH4/l	9.21	1.17	0.16	0.05	0.19	0.69		5.32	0.07	0.05	0.05	0.05	0.48			
NTK	mg N/l	9.50	1.40	1.00	1.00	1.01	1.49		5.70	1.30	1.10	1.00	1.12	1.48			
COD	mg C/l	/	/	3.60	3.90	/	/		/	/	5.70	6.10	/	/			
PO4	mg PO4/l	19.05	19.70	0.29	1.69	0.91	1.38		18.75	18.75	0.10	0.86	1.71	1.64			
Pt	mg P/l	6.55	6.59	0.10	0.57	0.31	0.47		6.85	7.24	0.16	0.67	0.77	0.71			
Ecoli	NPP/100 ml	35000	35000	440	35000	1548	2453		35000	14800	15	130	1295	2900			
IBD	/20	/	/	14.60	14.00					/	/	/	/				
Débit	m3/j	74.20	39.75	/	/				110.85	116.90	/	/					
Débit	m3/h	/	/	50.00	51.80					/	51.40	30.20					

## Classement milieu récepteur mesuré :

Amont	Aval ZRV
Bon	Médiocre

## Classement théorique en aval:

Avec ZRV	Sans ZRV
Moyen	Médiocre

## Classement milieu récepteur mesuré :

Amont	Aval ZRV
-------	----------

## Classement théorique en aval:

Avec ZRV	Sans ZRV
----------	----------

MONTANS		MONTANS							MONTANS	
ANNEE 2015		Campagne 10 - AOUT 2015							Campagne 11 - NOVEMBRE 2015	
Parmètres	Unités	entrée								

## Calculs d'impact théorique sur la qualité des masses d'eau réceptrices

SAINT-ROMAIN ANNEE 2013		SAINT-ROMAIN Campagne 02 - AOUT 2013							SAINT-ROMAIN Campagne 03 - NOVEMBRE 2013						
Parmètres	Unités	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	amont	Milieu aval Mesuré	Théorique avec ZRV	Théorique sans ZRV	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	amont	Milieu aval Mesuré	Théorique avec ZRV	Théorique sans ZRV
pH	-	7.9		8.3	7.4	7.9	7.5	7.5	7.2		7.9	7.4	7.7	7.4	7.4
MES	mg/l	7		3	3	34	3	3.3	18		10	4	27	4	3.9
DCO	mg O2/l	58		49	30	49	33	34.1	82		40	30	30	30	31.1
DBO5	mg O2/l	3.0		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	12.0		4.0	3.0	3.0	3.0	3.2
NO3	mg NO3/l	182.00		136.00	69.90	73.10	79.40	86.48	239.50		158.00	80.80	81.10	81.73	84.24
NO2	mg NO2/l	3.42		0.35	0.40	0.27	0.39	0.85	2.59		2.02	0.05	0.13	0.07	0.10
NH4	mg NH4/l	2.43		0.90	0.05	0.05	0.17	0.40	16.95		4.78	0.56	0.18	0.61	0.91
NTK	mg N/l	4.25		2.95	1.00	1.00	1.28	1.48	16.05		5.80	1.00	1.00	1.06	1.33
COD	mg C/l	/		/	3.01	4.87	/	/	/		/	1.30	1.81	/	/
PO4	mg PO4/l	12.00		11.60	0.10	2.43	1.75	1.86	24.70		16.25	0.10	0.51	0.29	0.63
Pt	mg P/l	7.75		7.60	0.07	0.86	1.15	1.20	9.02		5.95	0.01	0.22	0.08	0.20
Ecoli	NPP/100 ml	272300		2185	120	780	417	40383	820670		820670	38	67000	9937	17806
IBD	/20	/		/	18.70	10.50									
Débit	m3/j	15.00		14.50	/	/			14.50		8.00	/	/		
Débit	m3/h	/		/	3.60	4.30						27.30	24.40		

Impact ZRV sur classe milieu

Classement milieu récepteur mesuré :      Classement théorique en aval:

Amont	Aval ZRV	Avec ZRV	Sans ZRV
Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais

Amont	Aval ZRV	Avec ZRV	Sans ZRV
Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais

Classement milieu récepteur mesuré :      Classement théorique en aval:

Amont	Aval ZRV	Avec ZRV	Sans ZRV
Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais

Amont	Aval ZRV	Avec ZRV	Sans ZRV
Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais

SAINT-ROMAIN ANNEE 2014		SAINT-ROMAIN Campagne 06 - AOUT 2014							SAINT-ROMAIN Campagne 07 - NOVEMBRE 2014						
Parmètres	Unités	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	amont	Milieu aval Mesuré	Théorique avec ZRV	Théorique sans ZRV	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	amont	Milieu aval Mesuré	Théorique avec ZRV	Théorique sans ZRV
pH	-	7.0		7.9	7.3	7.9	7.3	7.3	7.2		7.8	8.0	8.0	8.0	8.0
MES	mg/l	7		6	2	20	2	2.4	8		2	6	34	6	6.4
DCO	mg O2/l	67		40	30	30	30.5	32	51		32	30	30	30	31.2
DBO5	mg O2/l	3.5		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	8.0		3.0	3.0	3.0	3.0	3.3
NO3	mg NO3/l	235.50		171.50	77.00	79.50	81.93	87.8	178.50		153.00	70.00	74.10	74.31	76.2
NO2	mg NO2/l	1.02		0.70	0.12	0.14	0.15	0.18	1.93		2.03	0.07	0.21	0.17	0.18
NH4	mg NH4/l	6.26		0.33	0.05	0.05	0.06	0.47	11.83		1.64	0.05	0.14	0.13	0.73
NTK	mg N/l	6.45		1.90	1.00	1.00	1.05	1.37	9.90		2.60	1.00	1.10	1.08	1.51
COD	mg C/l	/		/	1.80	2.70	/	/	/		/	2.20	2.40	/	/
PO4	mg PO4/l	32.70		25.35	0.10	1.96	1.42	2.33	24.50		21.30	0.10	1.45	1.20	1.50
Pt	mg P/l	11.00		9.61	0.01	0.66	0.51	0.76	9.46		8.33	0.03	0.65	0.46	0.57
Ecoli	NPP/100 ml	12400		9550	15	2600	512	861	35000		2200	30	370	143	2035
IBD	/20	/		/	19.30	8.40									
Débit	m3/j	22.00		16.50	/	/			20.00		18.00	/	/		
Débit	m3/h	/		/	12.50	10.30						13.70	11.80		

Impact ZRV sur classe milieu

Classement milieu récepteur mesuré :      Classement théorique en aval:

Amont	Aval ZRV	Avec ZRV	Sans ZRV
Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais

Amont	Aval ZRV	Avec ZRV	Sans ZRV
Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais

Classement milieu récepteur mesuré :      Classement théorique en aval:

Amont	Aval ZRV	Avec ZRV	Sans ZRV
Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais

Amont	Aval ZRV	Avec ZRV	Sans ZRV
Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais

SAINT-ROMAIN ANNEE 2015		SAINT-ROMAIN Campagne 10 - AOUT 2015							SAINT-ROMAIN Campagne 11 - NOVEMBRE 2015						
Parmètres	Unités	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	amont	Milieu aval Mesuré	Théorique avec ZRV	Théorique sans ZRV	entrée	Sortie STEP	Sortie ZRV	amont	Milieu aval Mesuré	Théorique avec ZRV	Théorique sans ZRV
pH	-	7.1		7.3	/	7.3	/	/	7.3		7.5	/	7.5	/	/
MES	mg/l	6		21	/	12	/	/	11		7	/	6	/	/
DCO	mg O2/l	55		52	/	42	/	/	46		34	/	56	/	/
DBO5	mg O2/l	5.0		4.7	/	4.0	/	/	5.0		4.0	/	3.0	/	/
NO3	mg NO3/l	233.00		249.00	/	248.00	/	/	292.50		208.00	/	209.00	/	/
NO2	mg NO2/l	0.64		1.73	/	5.99	/	/	0.50		4.38	/	2.40	/	/
NH4	mg NH4/l	8.07		7.20	/	4.68	/	/	9.57		15.20	/	1.44	/	/
NTK	mg N/l</td														

## ANNEXE B5 : Résultats détaillés

# Résultats détaillés consolidés

suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés

## Légende :

65% : Rendement significatif positif  
-32% : Rendement significatif négatif  
3% : Rendement non significatif  
NQ : Rendement non quantifiable

Commune	Paramètres	unité	Campagne 01									Campagne 02									Campagne 03								
			JUIN 2013						AOUT 2013						NOVEMBRE 2013						JUIN								
			[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]	[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]	[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]	[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]	[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]		
MEYSSAC	Pluie24h	mm/j	20	/	/	/	/	17	/	/	/	/	0	/	/	/	/	8	/	/	/	/	1	/	/	/	/		
	Débit	m3/j	597	483	5%	19%	35%	872	714	5%	18%	33%	362	271.5	5%	25%	44%	557	424	24%	42%	1026	643	5%	37%	61%			
	DB05	mgO2/l	3	3	35%	NQ	NQ	8	3	35%	63%	69%	3	3.4	20%	-13%	15%	4	3	25%	43%	3	3	20%	NQ	NQ			
	DCO	mgO2/l	30	48	15%	-60%	-29%	79	57	15%	28%	41%	31	38	15%	-23%	8%	48	34	29%	46%	30	30	15%	NQ	NQ			
	MES	mg/l	13	7	15%	46%	56%	19	7	15%	63%	70%	5.4	7.7	15%	-43%	-7%	13	4.1	68%	76%	5.8	2	15%	66%	78%			
	NGL	mg/l	4.2	2.2	15%	47%	57%	5.1	3.5	15%	31%	44%	6.1	3.8	15%	38%	53%	12	6.1	49%	61%	1.2	1.4	15%	-17%	26%			
	NNH4	mgN/l	2.3	1	10%	57%	65%	3.3	2.2	10%	33%	45%	4.2	1.8	10%	57%	68%	0.039	0.039	10%	NQ	NQ	0.039	0.039	10%	NQ	NQ		
	NN02	mgN/l	0.01	0.02	10%	-100%	-62%	0.01	0.01	10%	NQ	NQ	0.018	0.07	10%	-283%	-188%	0.027	0.052	-89%	-44%	0.012	0.015	10%	-25%	22%			
	NN03	mgN/l	0.5	0.5	15%	NQ	NQ	0.5	0.5	15%	NQ	NQ	0.23	0.24	15%	-6%	21%	0.23	0.23	NQ	NQ	0.23	0.4	15%	-79%	-12%			
	NTK	mg/l	3.7	1.7	5%	54%	63%	4.6	3	5%	35%	47%	5.9	3.5	5%	41%	56%	12	5.8	50%	62%	1	1	5%	NQ	NQ			
	PPO4	mgP/l	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0.033	0.028	15%	-750%	-538%	0.042	0.27	-531%	-380%	0.033	0.033	15%	NQ	NQ				
	Pt	mg/l	0.2	0.7	12%	-250%	-183%	0.4	0.6	12%	-50%	-23%	0.18	0.51	30%	-183%	-112%	0.36	0.5	-38%	-5%	0.045	0.072	30%	-60%	0%			
	Ecoli *	NPP/100ml	4.60E+04	7.90E+02	/	1.8	1.9	3.20E+05	3.50E+03	/	2.0	2.0	1.70E+04	4.00E+02	/	1.6	1.8	1.50E+04	8.50E+04	-0.8	-0.6	2.40E+04	1.00E+03	/	1.4	1.6	2.90E+04	1.20E+03	
	Cl	mg/l	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
CAILLAC	Pluie24h	mm/j	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	0	/	/	/	/	/		
	Débit	m3/j	731	534	5%	27%	47%	722	505	5%	30%	51%	653	261	5%	60%	84%	403	227	44%	68%	411	322	5%	22%	39%	366	281	
	DB05	mgO2/l	3	3	35%	NQ	NQ	3	3	35%	NQ	NQ	3	3	20%	NQ	NQ	3	3	NQ	NQ	4.3	3	20%	30%	45%			
	DCO	mgO2/l	30	30	15%	NQ	NQ	65	30	15%	54%	68%	38	44	15%	-14%	54%	39	54	-37%	23%	44	33	15%	26%	42%			
	MES	mg/l	2	3	15%	-50%	-10%	2	26	15%	-1200%	-809%	2.4	2	15%	17%	67%	2	2	NQ	NQ	4.4	4	15%	10%	30%			
	NGL	mg/l	1.6	1.5	15%	5%	31%	1.6	1.6	15%	1%	31%	2.1	1.3	15%	40%	76%	1.7	1.3	24%	57%	3.3	3.3	15%	1%	24%			
	NNH4	mgN/l	0.5	0.5	10%	NQ	NQ	0.5	0.5	10%	NQ	NQ	0.12	0.29	10%	-147%	1%	0.13	0.32	-138%	-34%	0.5	0.6	5%	-20%	8%			
	NN02	mgN/l	0.1	0.015	10%	85%	89%	0.1	0.015	10%	85%	90%	0.046	0.012	10%	73%	89%	0.024	0.012	50%	72%	0.055	0.016	5%	72%	78%			
	NN03	mgN/l	0.5	0.5	15%	NQ	NQ	0.5	0.57	15%	-13%	21%	0.23	0.23	15%	NQ	NQ	0.23	0.23	NQ	NQ	0.2	0.26	15%	-28%	0%			
	NTK	mg/l	1	1	5%	NQ	NQ	1	1	5%	NQ	NQ	1.8	1.1	5%	42%	77%	1.5	1.1	27%	59%	3	3	5%	NQ	NQ			
	PPO4	mgP/l	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3.4	3.3	15%	2%	61%	2.9	3.2	-11%	38%	4.3	3.4	15%	22%	39%				
	Pt	mg/l	1.7	1.6	12%	6%	31%	2.1	1.8	12%	14%	40%	3.8	3.8	30%	0%	60%	2.9	4	-34%	24%	4.1	3.4	12%	18%	36%			
	Ecoli *	NPP/100ml	5.60E+01	5.60E+01	/	0.0	0.1	5.80E+01	5.60E+01	/	0.0	0.2	1.40E+04	3.80E+01	/	2.6	3.0	1.30E+04	9.90E+01	2.1	2.4	2.30E+04	6.45E+02	/	1.6	1.7	7.90E+03	3.09E+02	
	Cl	mg/l	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/			
MONTANS	Pluie24h	mm/j	6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	31	/	/	/	/	6	/	/	/	7	/	/	/	/	5	/	/
	Débit	m3/j	89	93	5%	-4%	-9%	102	99	5%	3%	6%	176	182	5%	-3%	-7%	129	132	-2%	-5%	249	234	5%	6%	12%	286	262	
	DB05	mgO2/l	15	3	35%	80%	79%	3	3	35%	NQ	NQ	9	3	20%	67%	66%	3	3	NQ	NQ	3	3	20%	14%	21%			
	DCO	mgO2/l	103	34	15%	67%	66%	30																					

# Résultats détaillés consolidés

suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés

## Légende :

65% : Rendement significatif positif  
-32% : Rendement significatif négatif  
3% : Rendement non significatif  
NQ : Rendement non quantifiable

			Campagne 04										Campagne 05										Campagne 06									
			MAI 2014					JUIN 2014					AOUT 2014					J1					J2									
Commune	Paramètres	unité	J1					J2					J1					J2					J1					J2				
			[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]	[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]	[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]	[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]	[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]	[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]
MEYSSAC	Pluie24h	mm/j	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/
	Débit	m3/j	514	511	5%	1%	1%	445	397	5%	11%	20%	579	521.1	5%	10%	19%	481	432.9	5%	10%	19%	302	270	5%	11%	20%	278	270	5%	3%	6%
	DB05	mgO2/l	5	3	35%	40%	40%	7	3	35%	57%	62%	3	3	35%	NQ	NQ	3	3	35%	NQ	NQ	3	3	35%	NQ	NQ	3	3	35%	NQ	NQ
	DCO	mgO2/l	32	34	15%	-6%	-6%	47	30	15%	36%	43%	30	30	15%	NQ	NQ	30	30	15%	NQ	NQ	30	30	15%	NQ	NQ	30	31	15%	-3%	0%
	MES	mg/l	12	6.2	15%	48%	49%	16	11	15%	31%	39%	4.4	4.7	15%	-7%	4%	5.1	2	15%	61%	65%	11	4.1	15%	63%	67%	4	3.4	15%	15%	17%
	NGL	mg/l	3	1.3	15%	56%	56%	1.9	1.3	15%	32%	39%	7.5	4.7	15%	37%	43%	4.1	3	15%	27%	34%	7.6	3.5	15%	54%	59%	6	2.4	15%	60%	61%
	NNH4	mgN/l	0.7	0.26	10%	62%	62%	1	0.69	10%	32%	39%	0.39	0.3	10%	22%	30%	0.31	0.44	10%	-40%	-26%	0.15	0.093	10%	37%	44%	0.1	0.047	10%	54%	55%
	NNO2	mgN/l	0.03	0.04	10%	-33%	-33%	0.05	0.06	10%	-20%	-7%	0.62	0.37	10%	40%	46%	0.38	0.29	10%	24%	31%	0.19	0.02	10%	89%	91%	0.15	0.02	10%	87%	87%
	NNO3	mgN/l	0.2	0.2	15%	NQ	NQ	0.2	0.2	15%	NQ	NQ	5.3	2.9	15%	45%	50%	2.1	1.3	15%	40%	46%	5.7	2.2	15%	62%	66%	4.2	1.4	15%	66%	67%
	NTK	mg/l	2.8	1.1	5%	61%	61%	1.6	1	5%	38%	44%	1.6	1.5	5%	6%	16%	1.6	1.4	5%	13%	21%	1.7	1.3	5%	24%	32%	1.6	1	5%	38%	39%
	PPO4	mgP/l	0.033	0.055	15%	-70%	-69%	0.033	0.065	15%	-100%	-78%	0.033	0.095	15%	-190%	-161%	0.033	0.059	15%	-80%	-62%	0.43	0.042	15%	90%	91%	0.69	0.046	15%	93%	94%
	Pt	mg/l	0.32	0.23	30%	30%	30%	0.58	0.28	30%	52%	57%	0.091	0.18	30%	-99%	-79%	0.068	0.1	30%	-50%	-35%	0.68	0.15	30%	78%	80%	0.93	0.17	30%	81%	82%
	Ecoli *	NPP/100ml	8.21E+05	1.50E+05	/	0.7	0.7	8.21E+05	1.00E+04	/	1.9	2.0	3.50E+04	3.10E+02	/	2.1	2.1	3.50E+04	3.70E+02	/	2.0	2.0	2.50E+02	3.50E+02	/	-0.1	-0.1	1.50E+03	2.00E+02	/	0.9	0.9
	CI	mg/l	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
CAILLAC	Pluie24h	mm/j	0	/	/	/	/	2	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/
	Débit	m3/j	378	241	5%	36%	59%	433	258	5%	40%	64%	383	271	5%	29%	50%	391	277	5%	29%	50%	382	333	5%	13%	24%	352	287	5%	18%	34%
	DB05	mgO2/l	3	3	35%	NQ	NQ	3	3	35%	NQ	NQ	3	3	35%	NQ	NQ	4	3	35%	25%	47%	3	5	35%	-67%	-45%	3	4.5	35%	-50%	-22%
	DCO	mgO2/l	51	34	15%	34%	58%	30	30	15%	NQ	NQ	30	30	15%	NQ	NQ	30	30	15%	NQ	NQ	35	37	15%	-4%	9%	30	37	15%	-22%	1%
	MES	mg/l	4.6	4.4	15%	5%	40%	4.5	3.7	15%	18%	51%	4.5	3.9	15%	14%	39%	3.4	3.2	15%	7%	34%	3.1	9.2	15%	-195%	-157%	3	15	15%	-383%	-294%
	NGL	mg/l	2.4	1.9	15%	21%	50%	3.3	3.6	15%	-8%	36%	1.9	3.1	15%	-63%	-15%	2	1.6	15%	21%	44%	2.5	2	15%	19%	30%	2.3	1.7	15%	24%	38%
	NNH4	mgN/l	0.58	0.46	10%	20%	49%	1	0.55	5%	45%	67%	0.054	0.051	10%	7%	34%	0.039	0.039	10%	NQ	NQ	0.59	0.26	10%	56%	62%	0.23	0.039	10%	83%	86%
	NNO2	mgN/l	0.21	0.2	10%	5%	39%	0.08	0.05	5%	38%	63%	0.03	0.01	10%	67%	76%	0.03	0.01	10%	67%	76%	0.06	0.015	10%	75%	78%	0.05	0.01	10%	80%	84%
	NNO3	mgN/l	0.2	0.2	15%	NQ	NQ	0.2	0.51	15%	-153%	-50%	0.2	0.24	15%	-18%	-17%	0.2	0.2	15%	NQ	NQ	0.2	0.22	15%	-10%	4%	0.71	0.2	15%	72%	77%
	NTK	mg/l	2	1.5	5%	25%	52%	3	3	5%	NQ	NQ	1.7	2.9	5%	-71%	-21%	1.8	1.4	5%	22%	45%	2.2	1.8	5%	20%	31%	1.5	1.5	5%	0%	18%
	PPO4	mgP/l	1.3	3.1	15%	-143%	-55%	1.4	2	15%	-41%	-16%	3	3.1	15%	-5%	-26%	3	3.1	15%	-3%	-27%										

# Résultats détaillés consolidés

suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés

## Légende :

65% : Rendement significatif positif  
-32% : Rendement significatif négatif  
3% : Rendement non significatif  
NQ : Rendement non quantifiable

			Campagne 07								Campagne 08								Campagne 09													
			NOVEMBRE 2014								MAI 2015								JUIN 2015													
Commune	Paramètres	unité	J1				J2				J1				J2				J1				J2									
			[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]	[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]	[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]	[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]	[C]entrée	[C]sortie	Incertitude	Rw[C]	Rw[flux]					
MEYSSAC	Pluie24h	mm/j	0.5	/	/	/	/	2.5	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/					
	Débit	m3/j	289	269	5%	7%	13%	393	353	5%	10%	19%	483	353	5%	27%	47%	452	322	5%	29%	49%	299	218	5%	27%	47%					
	DB05	mgO2/l	3	3	35%	NQ	NQ	3	3	35%	NQ	NQ	3	3	35%	NQ	NQ	30	30	15%	NQ	NQ	3	3	35%	NQ	NQ					
	DCO	mgO2/l	30	30	15%	NQ	NQ	33	30	15%	9%	18%	30	30	15%	NQ	NQ	30	30	15%	NQ	NQ	30	30	15%	NQ	NQ					
	MES	mg/l	3.6	2	15%	44%	48%	6.9	2	15%	71%	74%	4.5	4.5	15%	0%	27%	11	10	15%	9%	35%	7.5	16	15%	-113%	-56%					
	NGL	mg/l	4.1	1.5	15%	64%	66%	1.8	2.3	15%	-28%	-15%	2.9	1.2	15%	58%	70%	4.7	1.2	15%	74%	81%	3.5	2.9	15%	16%	39%					
	NNH4	mgN/l	0.047	0.62	10%	-1233%	-1141%	0.22	0.054	10%	75%	78%	0.72	0.039	10%	95%	96%	2.6	0.3	10%	89%	92%	0.16	0.47	10%	-186%	-108%					
	NNO2	mgN/l	0.03	0.01	10%	67%	69%	0.04	0.01	10%	75%	78%	0.01	0.01	10%	NQ	NQ	0.01	0.03	10%	-200%	-114%	0.07	0.06	10%	14%	38%					
	NNO3	mgN/l	2.7	0.47	15%	83%	84%	0.21	1.3	15%	-51%	-456%	0.2	0.2	15%	NQ	NQ	0.2	0.2	15%	NQ	NQ	2	0.36	15%	82%	87%					
	NTK	mg/l	1.4	1	5%	29%	34%	1.5	1	5%	33%	40%	2.7	1	5%	63%	73%	4.5	1	5%	78%	84%	1.4	2.5	5%	-79%	-30%					
	PPO4	mgP/l	0.033	0.12	15%	-280%	-254%	0.23	0.095	15%	58%	62%	0.033	0.085	15%	-160%	-90%	0.033	0.085	15%	-160%	-85%	0.059	0.34	15%	-478%	-321%					
	Pt	mg/l	0.22	0.26	30%	-21%	-13%	0.53	0.22	30%	59%	63%	0.099	0.17	30%	-73%	-26%	0.13	0.18	30%	-37%	3%	0.33	0.59	30%	-81%	-32%					
	Ecoli *	NPP/100ml	3.50E+04	2.20E+02	/	2.2	2.2	3.50E+04	5.40E+03	/	0.8	0.9	3.50E+04	7.00E+02	/	1.7	1.8	3.50E+04	3.70E+02	/	2.0	2.1	3.50E+04	1.50E+03	/	1.4	1.5	3.50E+04	8.60E+02	/	1.6	1.8
	CI	mg/l	/	/	/	/	/	/	/	/	/	43.7	37.6	15%	14%	37%	52.7	40.4	15%	23%	45%	69.7	64.8	15%	7%	32%	70.9	67.8	15%	4%	33%	
CAILLAC	Pluie24h	mm/j	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	3	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	
	Débit	m3/j	404	334	5%	17%	32%	374	333	5%	11%	21%	507	238	5%	53%	78%	541	299	5%	45%	69%	389	193	5%	50%	75%	326	182	5%	44%	69%
	DB05	mgO2/l	3	3	35%	NQ	NQ	3	4	35%	-33%	-19%	3	3	35%	NQ	NQ	30	30	15%	NQ	NQ	3	3	35%	NQ	NQ	3	3	35%	NQ	NQ
	DCO	mgO2/l	30	30	15%	NQ	NQ	30	30	15%	NQ	NQ	30	30	15%	NQ	NQ	38	33	15%	13%	57%	37	38	15%	-3%	43%					
	MES	mg/l	2.5	4.4	15%	-74%	-44%	2	2	15%	NQ	NQ	3.2	7	15%	-119%	-3%	2.4	3.6	15%	-50%	17%	5.3	4.7	15%	11%	56%	4.9	3	15%	39%	66%
	NGL	mg/l	3.8	2	15%	46%	55%	2.8	1.7	15%	39%	45%	1.2	1.2	15%	2%	54%	2.3	1.8	15%	20%	56%	2	3	15%	-49%	26%	2.8	1.3	15%	53%	74%
	NNH4	mgN/l	1.7	0.07	10%	96%	97%	1.2	0.043	10%	96%	97%	0.14	0.039	10%	72%	87%	0.22	0.086	10%	61%	78%	0.039	0.039	10%	78%	80%	0.054	0.078	10%	-43%	20%
	NNO2	mgN/l	0.07	0.06	10%	14%	29%	0.06	0.025	10%	58%	63%	0.04	0.01	10%	75%	88%	0.05	0.01	10%	80%	89%	0.01	0.01	10%	NQ	NQ	0.01	0.01	10%	NQ	NQ
	NNO3	mgN/l	0.2	0.68	15%	-238%	-179%	0.2	0.51	15%	-155%	-127%	0.2	0.2	15%	NQ	NQ	0.2	0.2	15%	NQ	NQ	0.27	0.45	15%	-67%	17%	0.2	0.2	15%	NQ	NQ
	NTK	mg/l	3.5	1.3	5%	63%	69%	2.5	1.2	5%	54%	59%	1	1	5%	NQ	NQ	2	1.6	5%	20%	56%	1.7	2.5	5%	-47%	27%	2.6	1.1	5%	58%	76%
	PPO4	mgP/l	2.9	2.7	15%	5%	22%	2.7	2.5	15%	6%	16%	2	/	15%	100%	100%	2.3	2.4	15%	-6%	41%	2.6	2.7	15%	-5%	48%	2.2	2.5	15%	-13%	37%
	Pt	mg/l	3.1	3.1	30%	-1%	16%	3	2.6	30%	13%	22%	2.3	2.3	30%	-3%	52%	2.5	2.3	30%	7%	49%	2.6	2.8	30%	-7%	47%	2.3	2.6	30%	-16%	35%
	Ecoli *	NPP/100ml	7.70E+03	3.75E+02	/	1.3	1.4	4.60E+03	1.80E+02	/	1.4	1.5	2.40E+03	1.80E+02	/	1.1	1.5	1.20E+03	1.10E+03	/	0.6	0.9	1.80E+03	0.2	0.5							

# Résultats détaillés consolidés

Suivi expérimental du fonctionnement des ZRV et des milieux récepteurs associés

## Légende :

65% : Rendement significatif positif  
-32% : Rendement significatif négatif  
3% : Rendement non significatif  
NQ : Rendement non quantifiable

Commune	Paramètres	unité	Campagne 10								Campagne 11											
			AOUT 2015				NOVEMBRE 2015				AOUT 2015				NOVEMBRE 2015							
			J1		J2		J1		J2		J1		J2		J1		J2					
MEYSSAC	Pluie24h	mm/j	0	/	/	/	0	/	/	/	0	/	/	/	0	/	/	/				
	Débit	m3/j	308	228	5%	26%	45%	322	216	5%	33%	55%	355	284	5%	20%	36%	313	254	5%	19%	34%
	DB05	mgO2/l	3	4	35%	-33%	1%	3	3	35%	NQ	NQ	3	3	35%	NQ	NQ	3	3	35%	NQ	NQ
	DCO	mgO2/l	33	37	15%	-12%	17%	30	30	15%	NQ	NQ	31	30	15%	3%	23%	30	32	15%	-7%	13%
	MES	mg/l	4.5	18	15%	-300%	-196%	5.2	5.2	15%	0%	33%	7	4.1	15%	41%	53%	3.9	5.2	15%	-33%	-8%
	NGL	mg/l	1.7	1.2	15%	28%	47%	1.6	1.3	15%	20%	47%	1.2	1.5	15%	-20%	4%	1.9	1.2	15%	37%	49%
	NNH4	mgN/l	0.16	0.1	10%	35%	52%	0.26	0.12	10%	55%	70%	0.039	0.68	10%	-160%	-1308%	0.047	0.039	10%	17%	32%
	NNO2	mgN/l	0.01	0.01	10%	NQ	NQ	0.01	0.01	10%	NQ	NQ	0.01	0.01	10%	NQ	NQ	0.01	0.01	10%	NQ	NQ
	NNO3	mgN/l	0.2	0.22	15%	-10%	19%	0.2	0.27	15%	-35%	9%	0.2	0.24	15%	-20%	4%	0.2	0.2	15%	NQ	NQ
	NTK	mg/l	1.5	1	5%	33%	51%	1.4	1	5%	29%	52%	1	1.2	5%	-20%	4%	1.7	1	5%	41%	52%
	PPO4	mgP/l	0.15	0.36	15%	-147%	-83%	0.24	0.42	15%	-77%	-19%	0.033	0.2	15%	-500%	-380%	0.033	0.17	15%	-430%	-330%
	Pt	mg/l	0.5	0.66	30%	-32%	2%	0.7	0.75	30%	-7%	28%	0.61	0.66	30%	-8%	13%	0.64	0.62	30%	3%	21%
	Ecoli *	NPP/100ml	3.50E+04	1.80E+03	/	1.3	1.4	3.50E+04	1.80E+03	/	1.3	1.5	3.50E+04	9.40E+02	/	1.6	1.7	2.10E+04	1.90E+02	/	2.0	2.1
	Cl	mg/l	66.1	67.4	15%	-2%	25%	66.9	66.8	15%	0%	33%	56.5	59.6	15%	-5%	16%	58.1	57.7	15%	1%	19%
CAILLAC	Pluie24h	mm/j	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	12	/	/	/	/	0	/	/	/	/
	Débit	m3/j	361	75	5%	79%	96%	350	55	5%	84%	98%	636	/	5%	/	/	377	232	5%	38%	62%
	DB05	mgO2/l	4	3	35%	25%	84%	4	3	35%	25%	88%	3	4	35%	-33%	/	3	4	35%	-33%	18%
	DCO	mgO2/l	32	30	15%	6%	81%	45	34	15%	24%	88%	30	33	15%	-10%	/	30	33	15%	-10%	32%
	MES	mg/l	20	5	15%	75%	95%	2.1	3.5	15%	-67%	74%	5.4	3.7	15%	31%	/	6.5	2.6	15%	60%	75%
	NGL	mg/l	2.1	1.5	15%	28%	85%	1.7	1.2	15%	30%	89%	3.4	2.1	15%	39%	/	2.8	1.9	15%	30%	57%
	NNH4	mgN/l	0.32	0.039	10%	88%	97%	0.26	0.039	10%	85%	98%	1.9	0.22	10%	89%	/	0.9	0.14	10%	84%	90%
	NNO2	mgN/l	0.01	0.01	10%	NQ	NQ	0.03	0.01	10%	67%	95%	0.04	0.12	10%	-200%	/	0.03	0.07	10%	-133%	-44%
	NNO3	mgN/l	0.2	0.2	15%	NQ	NQ	0.2	0.2	15%	NQ	NQ	0.2	0.77	15%	-285%	/	0.46	0.87	15%	-89%	-16%
	NTK	mg/l	1.9	1.3	5%	32%	86%	1.5	1	5%	33%	90%	3.2	1.2	5%	63%	/	2.3	1	5%	57%	73%
	PPO4	mgP/l	3	3.1	15%	-2%	79%	3.5	3.2	15%	7%	85%	3.9	3.6	15%	8%	/	3.4	3.5	15%	-4%	36%
	Pt	mg/l	3.7	3.8	30%	-2%	79%	3.5	3.2	30%	6%	85%	4	3.7	30%	7%	/	3.4	3.6	30%	-5%	35%
	Ecoli *	NPP/100ml	1.50E+04	4.40E+02	/	1.5	2.2	6.30E+02	2.30E+02	/	0.4	1.2	2.10E+04	7.10E+03	/	0.5	/	2.80E+04	9.70E+02	/	1.5	1.7
	Cl	mg/l	137	136	15%	1%	79%	134	135	15%	-1%	84%	133	125	15%	6%	/	134	132	15%	1%	39%
MONTANS	Pluie24h	mm/j	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	0	/	/	/	/	1	/	/	/	/
	Débit	m3/j	47.2	52	5%	-10%	-21%	34.8	36.5	5%	-5%	-10%	49.9	48.1	5%	4%	7%	52.9	50.1	5%	5%	10%
	DB05	mgO2/l	30	3	35%	90%	89%	10	4	35%	60%	58%	11	5	35%	55%	56%	10	4	35%	60%	62%
	DCO	mgO2/l	95	42	15%	56%	51%	106	30	15%	72%	70%	84	53	15%	37%	39%	79	50	15%	37%	40%
	MES	mg/l	40	11	15%	73%	70%	45	72	15%	-60%	-68%	21	12	15%	43%	45%	15	8.9	15%	41%	44%
	NGL	mg/l	67	44	15%	35%	28%	92	55	15%	40%	37%	76	51	15%	34%	36%	75	47	15%	38%	42%
	NNH4	mgN/l	7.3	0.44	10%	94%	93%	4.8	0.57	10%	88%	88%	12	7.9	10%	32%	35%	13	9.3	10%	29%	33%
	NNO2	mgN/l	0.28	0.31	10%	-11%	-2.2%	1.5	0.39	10%	73%	72%	0.3	0.95	10%	-217%	-205%	0.32	0.97	10%	-203%	-187%
	NNO3	mgN/l	57	42	15%	26%	19%	81	53	15%	35%	32%	63	40	15%	36%	39%	61	36	15%	41%	44%
	NTK	mg/l	9.8	1.5	5%	85%	83%	8.7	1.5	5%	83%	82%	13	9.7	5%	27%	30%	14	9.8	5%	31%	35%

**AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE  
SIÈGE**

90 rue du Féretra - CS 87801  
31 078 Toulouse Cedex 4  
Tél. : 05 61 36 37 38 | Fax : 05 61 36 37 28

**DÉLÉGATIONS TERRITORIALES :**

**Atlantique-Dordogne**

4 rue du Professeur André-Lavignolle  
33 049 Bordeaux Cedex  
Tél. : 05 56 11 19 99 | Fax : 05 61 11 19 98  
Départements : 16 - 17 - 33 - 47 - 79 - 86  
et  
94 rue du Grand Prat  
19 600 Saint-Pantaléon-de-Larche  
Tél. : 05 55 88 02 00 | Fax : 05 55 88 02 01  
Départements : 15 - 19 - 23 - 24 - 63 - 87

**Adour et Côtiers**

7 passage de l'Europe - BP 7503  
64 075 Pau Cedex  
Tél. : 05 59 80 77 90 | Fax : 05 59 80 77 99  
Départements : 40 - 64 - 65

**Garonne amont**

Rue de Bruxelles - Bourran - BP 3510  
12 035 Rodez Cedex 9  
Tél. : 05 65 75 56 00 | Fax : 05 65 75 56 09  
Départements : 12 - 30 - 46 - 48  
et  
97 rue St Roch - CS 14407  
31405 Toulouse Cedex 4  
Tél. : 05 61 43 26 80 | Fax : 05 61 43 26 99  
Départements : 09 - 11 - 31 - 32 - 34 - 81 - 82

