

Suivi des performances de trois zones de rejet végétalisées du bassin Rhin-Meuse



Retour de sept années de suivi



Avril 2018

RÉSUMÉ

L'Agence de l'eau Rhin-Meuse encourage depuis 2009 la mise en place d'ouvrages complémentaires entre la sortie de station de traitement des eaux usées (STEU) et le milieu récepteur, orientation reprise dans le [SDAGE Rhin-Meuse](#)¹. Ces ouvrages sont appelés Zones de Rejet Végétalisées (ZRV).

Ces zones sont construites dans le but d'atténuer les effets des rejets des STEU sur le milieu récepteur. On attribue également aux ZRV des rôles variés tels que :

- Un lissage des débits ;
- Une réduction des volumes rejetés (par infiltration des eaux, évapotranspiration et évaporation) ;
- Un espace de transition « doux » entre la station et le cours d'eau, permettant de préserver les abords et maintenir sa divagabilité ;
- Un milieu humide fonctionnel favorable à la biodiversité ;
- Un abattement complémentaire de la pollution.

Le traitement des effluents en STEU par filtre plantés de roseaux (FPR) peut parfois s'avérer insuffisant pour préserver la qualité des milieux aquatiques récepteurs, parfois sensibles.

Aujourd'hui, les performances épuratoires de ces zones sur les macropolluants tels que la DBO5, les MES, les nitrates, le phosphore, etc. sont peu connues. On recense environ 200 ZRV sur le bassin Rhin-Meuse.

Pour accompagner leur développement, et répondre aux interrogations et besoins des concepteurs, services de police de l'eau et exploitants, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse réalise depuis 2009 une étude de leurs performances épuratoires. Ainsi, entre 2009 et 2013 un suivi de 3 ZRV situées dans le Haut-Rhin (68) a été réalisé en collaboration avec le SATESE 68 et l'ENGEES, complété par des bilans supplémentaires de 2013 à 2016

Cette étude a permis d'analyser les performances épuratoires des 3 ZRV étudiées entre 2009 et 2016 et de proposer des tendances globales pour différents paramètres.

¹ SDAGE 2016>2021 Orientations fondamentales et dispositions TOME 4 p 48.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	9
2	CONTEXTE GENERAL	11
2.1	CONTEXTE NATIONAL	11
2.1.1	<i>D'un point de vue réglementaire</i>	11
2.1.2	<i>ZRV, Zones humides et bandes enherbées</i>	11
2.1.3	<i>Infiltration des eaux traitées</i>	12
2.1.4	<i>Accès des ZRV au public</i>	12
2.1.5	<i>ZRV et zone de captage pour l'eau potable</i>	13
2.1.6	<i>Responsabilité du maître d'ouvrage</i>	13
2.2	CARACTERISTIQUES ET FONCTIONNALITE DES ZRV	13
2.2.1	<i>Définition et typologie.....</i>	14
2.2.2	<i>Dimensionnement.....</i>	15
2.2.3	<i>Rôle des végétaux dans le traitement des eaux usées</i>	15
3	PARTENAIRES DE L'ETUDE DE SUIVI DES PERFORMANCES EPURATOIRES	16
3.1	AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE	17
3.2	CONSEIL DEPARTEMENTAL DU HAUT-RHIN	17
3.3	ENGEES/ICUBE	17
4	SITES ETUDIES.....	18
4.1	SIA DE LUTTER – RAEDERSDORF	18
4.1.1	<i>Données générales.....</i>	18
4.1.2	<i>Milieu récepteur.....</i>	18
4.1.3	<i>Capacité de la STEU</i>	19
4.1.4	<i>Performances attendues de la STEU</i>	20
4.1.5	<i>Caractéristiques de la ZRV</i>	20
4.2	COMMUNE DE LIEBSDORF	21
4.2.1	<i>Données générales.....</i>	21
4.2.2	<i>Milieu récepteur.....</i>	22
4.2.3	<i>Capacité de la STEU</i>	22
4.2.4	<i>Performances attendues de la STEU</i>	23
4.2.5	<i>Caractéristiques de la ZRV</i>	23
4.3	SIVOM DE WAHLBACH – ZAESSINGUE	25
4.3.1	<i>Données générales.....</i>	25
4.3.2	<i>Milieu récepteur.....</i>	25
4.3.3	<i>Capacité de la STEU</i>	26
4.3.4	<i>Performances attendues</i>	26
4.3.5	<i>Caractéristiques de la ZRV</i>	27
5	METHODOLOGIE.....	29
5.1	SUIVI DES ZRV ET BILAN DE FONCTIONNEMENT	29
5.1.1	<i>Protocole du bilan de fonctionnement.....</i>	29
5.1.2	<i>Paramètres chimiques analysés.....</i>	30
5.1.3	<i>Observation de terrain et suivi photographique</i>	30
5.2	TRAITEMENT DES DONNEES	30
5.2.1	<i>Calculs des rendements épuratoires</i>	30
5.2.2	<i>Critiques de la méthodologie</i>	32

5.3	TEMPS DE SEJOURS ET DISPERSION HYDRAULIQUE DANS LES ZRV	32
5.3.1	<i>Intérêts du multi traçage</i>	33
5.3.2	<i>Protocole du traçage</i>	33
5.3.2.1	Injection du traceur	33
5.3.2.2	Détection du traceur en sortie	34
5.3.3	<i>Détermination des temps de séjour</i>	34
5.3.4	<i>Critique de la méthode utilisée</i>	35
5.4	COUTS DU SUIVI GENERAL	36
5.4.1	<i>Coûts des infrastructures pour le suivi sur site</i>	36
5.4.1.1	SIA de Lutter-Raedersdorf	36
5.4.1.2	Commune de Liebsdorf.....	36
5.4.1.3	SIVOM de Wahlbach-Zaessingue.....	36
5.4.2	<i>Coûts du suivi réalisé par le SATESE 68</i>	37
5.4.3	<i>Coûts de l'étude des TSH et DSH réalisée par ENGEES/ICUBE</i>	37
6	RESULTATS	38
6.1	SUIVI GENERAL.....	38
6.1.1	<i>Dysfonctionnement</i>	38
6.1.1.1	ZRV de Lutter Raedersdorf	38
6.1.1.2	ZRV de Liebsdorf	39
6.1.1.3	ZRV de Wahlbach-Zaessingue.....	39
6.1.2	<i>Entretien et espace vert</i>	40
6.1.3	<i>Comblement des ZRV</i>	41
6.1.3.1	Origines.....	41
6.1.3.2	Curage.....	41
6.2	PERTES ET APPORTS HYDRIQUES NON CONTROLES	41
6.2.1	<i>SIA de Lutter – Raedersdorf</i>	41
6.2.2	<i>Commune de Liebsdorf</i>	42
6.2.3	<i>SIVOM de Wahlbach – Zaessingue</i>	42
6.3	PERFORMANCES EPURATOIRES OBSERVEES PAR ZRV	42
6.3.1	<i>SIA de Lutter-Raedersdorf</i>	42
6.3.1.1	Concentration en entrée et sortie de ZRV	42
6.3.1.2	Complément épuratoire apporté par la ZRV	43
6.3.1.3	Focus sur les abattements épuratoires de la ZRV supérieurs à 5%.....	44
6.3.1.4	Focus sur le temps de pluie	47
6.3.1.5	Temps de séjour et distribution hydraulique.....	50
6.3.2	<i>Commune de Liebsdorf</i>	53
6.3.2.1	Concentration en entrée et sortie de ZRV	53
6.3.2.2	Complément d'épuration apporté par la ZRV.....	54
6.3.2.3	Focus sur les abattements de pollution par la ZRV supérieurs à 5 %.....	55
6.3.2.4	Focus sur le temps de pluie	57
6.3.2.5	Temps de séjour et distribution hydraulique.....	59
6.3.3	<i>SIVOM de Wahlbach – Zaessingue</i>	64
6.3.3.1	Concentration en entrée et sortie de ZRV	64
6.3.3.2	Complément d'épuration apporté par la ZRV.....	65
6.3.3.3	Focus sur les abattements de pollution par la ZRV supérieurs à 5%	66
6.3.3.4	Focus sur le temps de pluie	68
6.3.3.5	Temps de séjour et distribution hydraulique.....	70
6.4	COMPARAISON DE CES TROIS ZRV	74
6.4.1	<i>Abattement relatif de la pollution par les ZRV étudiées</i>	74
6.4.2	<i>Rendements épuratoires des ZRV</i>	76
6.4.3	<i>Focus sur les abattements de la pollution en temps de pluie</i>	77

6.4.4	<i>Focus sur l'abattement de la pollution azotée (nitrates) et phosphorée</i>	79
6.4.5	<i>Temps de séjour et hydrodynamique des trois ZRV</i>	80
7	CONCLUSION	82

SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

AERM : Agence de l'Eau Rhin-Meuse

NO₃⁻ : Nitrate

DBO5 : Demande Biologique en Oxygène en 5 jours

Pt : Phosphore Total

DCO : Demande Chimique en Oxygène

RSD : Règlement Sanitaire Départemental

DTS : Distribution des Temps de Séjour

SATESE : Service d'Assistance Technique aux Exploitants des Stations d'Épuration

EH : Equivalent Habitant

SIA : Syndicat Intercommunal d'Assainissement

FPRev : Filtres Plantés de Roseaux à écoulement vertical

SRB : Sulforhodamine B

INSEE : Institut Nationale de la Statistique et des Etudes Economiques

STEU : Station de Traitement des Eaux Usées

IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour L'environnement et l'Agriculture

TCH : Taux de Charge Hydraulique

MES : Matière En Suspension

TCO : Taux de Charge Organique

NGL : Azote Global ou Azote Total

TD : Taux de Dilution

NK : Azote Kjeldahl

UR : Uranine

NO₂⁻ : Nitrite

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

FIGURE 2 : MARE –ZRV CHICOURT	14
FIGURE 1 : CHENAL MEANDREUX – ZRV CHICOURT (57)	14
FIGURE 4 : VUE AERIENNE DE LA ZONE (GEOPORTAIL)	19
FIGURE 3 : RUISSEAU LE BIRQUELE	19
FIGURE 5 : LA ZRV DE LUTTER APRES DEUX ANNEES DE FONCTIONNEMENT - (M.NUEL – AERM)	20
FIGURE 6 : COUPE LONGITUDINALE DE LA ZRV AU MOMENT DE LA CONSTRUCTION	20
FIGURE 7 : VUE AERIENNE (GEOPORTAIL.FR)	22
FIGURE 8 : FOSSE LE LIEBSDORFERGRABEN	22
FIGURE 9 : LA ZRV DE LIEBSDORF APRES TROIS ANNEES DE FONCTIONNEMENT – (M.NUEL – AERM)	23
FIGURE 10 : EXTRAIT DU PLAN DE RECOLEMENT (L'ARRIVEE SE FAIT PAR LE REGARD R7 ET L'EVACUATION PAR R8 ET R9)	24
FIGURE 11 : VUE AERIENNE (EXTRAIT DU SITE GEOPORTAIL.FR)	25
FIGURE 12 : RUISSEAU LE WAHLBACH	25
FIGURE 13 : LA ZRV DE WAHLBACH APRES UNE ANNEE DE FONCTIONNEMENT – (M.NUEL – AERM)	27
FIGURE 14 : EXTRAIT DU PLAN DE RECOLEMENT	27
FIGURE 15 : ILLUSTRATION DU CALCUL DES RENDEMENTS EPURATOIRES	31
FIGURE 16 : DEVELOPPEMENT D'ALGUES DANS LA MARE (AERM / NUEL)	38
FIGURE 17 : EROSION LOCALISEE DE LA BERGE - AERM	39
FIGURE 18 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEU ET DE LA ZRV DE LA POLLUTION REÇUE PAR LA STATION - LUTTER	44
FIGURE 19 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEU ET DE LA ZRV DE LA POLLUTION EN PHOSPHORE REÇUE PAR LA STATION - LUTTER ...	45
FIGURE 20 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEU ET DE LA ZRV DE LA POLLUTION EN NK REÇUE PAR LA STEU - LUTTER	46
FIGURE 21 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEU ET DE LA ZRV DE LA POLLUTION EN NGL REÇUE PAR LA STEU - LUTTER	47
FIGURE 22 : COMPTAGE DES VOLUMES D'EAU EN ENTREE DE LA ZRV LE 21/08/13 – LUTTER	48
FIGURE 23 : COMPTAGE DES VOLUMES D'EAU EN SORTIE DE ZRV LE 21/08/13 – LUTTER	48
FIGURE 24 : RENDEMENTS EPURATOIRES DE LA ZRV EN TEMPS DE PLUIE - LUTTER	49
FIGURE 25 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEU ET DE LA ZRV DU FLUX DE POLLUTION ARRIVANT EN TETE DE FILIERE DE TRAITEMENT – LUTTER	49
FIGURE 27 : EVOLUTION DE LA TEMPERATURE ET DU PH EN SORTIE - ZRV DE LUTTER	50
FIGURE 28 : CHRONIQUE DES DEBITS DURANT LES EXPERIENCES - ZRV DE LUTTER	51
FIGURE 29 : DISTRIBUTION DES TEMPS DE SEJOUR - TRACEURS FLUORESCENTS - ZRV DE LUTTER	52
FIGURE 30 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEU ET DE LA ZRV DE LA POLLUTION REÇUE PAR LA STATION DE LIEBSDORF	55
FIGURE 31 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEU ET DE LA ZRV DE LA POLLUTION EN DCO REÇUE PAR LA STATION – LIEBSDORF	56
FIGURE 32 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEU ET DE LA ZRV DE LA POLLUTION EN NGL REÇUE PAR LA STATION – LIEBSDORF	57
FIGURE 33 : COMPTAGE DES VOLUMES D'EAU EN ENTREE DE LA ZRV DE LIEBSDORF LE 23/06/11	57
FIGURE 34 : COMPTAGE DES VOLUMES D'EAU EN SORTIE DE LA ZRV DE LIEBSDORF LE 23/06/11	58
FIGURE 35 : RENDEMENTS EPURATOIRES DE LA ZRV EN TEMPS DE PLUIE – LIEBSDORF	58
FIGURE 36 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEU ET DE LA ZRV DU FLUX DE POLLUTION ARRIVANT EN TETE DE FILIERE DE TRAITEMENT PAR TEMPS DE PLUIE – LIEBSDORF	59
FIGURE 37 : CHRONIQUE DES DEBITS DURANT LES EXPERIENCES - ZRV DE LIEBSDORF	60
FIGURE 38 : COURBE DE TRAÇAGE A LA SRB - ZRV DE LIEBSDORF	61
FIGURE 39 : COURBE DE TRAÇAGE A L'UR - ZRV DE LIEBSDORF	61
FIGURE 40 : COURBE DE TRAÇAGE AU SEL - ZRV DE LIEBSDORF	62
FIGURE 41 : DISTRIBUTION DES TEMPS DE SEJOUR - TRACEURS FLUORESCENTS - ZRV DE LIEBSDORF	63
FIGURE 42 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEU ET DE LA ZRV DE LA POLLUTION REÇUE PAR LA STATION – WAHLBACH	65
FIGURE 43 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEU ET DE LA ZRV DE LA POLLUTION EN DCO REÇUE PAR LA STATION – WAHLBACH	66
FIGURE 44 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEU ET DE LA ZRV DE LA POLLUTION EN PT REÇUE PAR LA STATION – WAHLBACH	67

FIGURE 45 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEP ET DE LA ZRV DE LA POLLUTION EN NGL REÇUE PAR LA STATION – WAHLBACH	68
FIGURE 46 : COMPTAGE DES VOLUMES D'EAU EN ENTREE DE LA ZRV DE WAHLBACH LE 04/12/12.....	68
FIGURE 47 : COMPTAGE DES VOLUMES D'EAU EN SORTIE DE LA ZRV DE WAHLBACH LE 04/12/12	69
FIGURE 48 : RENDEMENTS EPURATOIRES DE LA ZRV EN TEMPS DE PLUIE – WAHLBACH	69
FIGURE 49 : PART D'ABATTEMENT DE LA STEU ET DE LA ZRV DU FLUX DE POLLUTION ARRIVANT EN TETE DE FILIERE DE TRAITEMENT – WAHLBACH	70
FIGURE 50 : DISSIPATION DES TRACEURS FLUORESCENTS DANS LA ZRV DE WAHLBACH.....	71
FIGURE 51 : CHRONIQUE DES DEBITS DURANT LES EXPERIENCES - ZRV DE WAHLBACH.....	71
FIGURE 52 : COURBE DE TRAÇAGE A L'UR - ZRV DE WAHLBACH.....	72
FIGURE 53 : COURBE DE TRAÇAGE A LA SBR - ZRV DE WAHLBACH.....	72
FIGURE 54 : COURBE DE TRAÇAGE AU SEL - ZRV DE WAHLBACH	72
FIGURE 55 : DISTRIBUTION DES TEMPS DE SEJOUR - TRACEURS FLUORESCENTS - ZRV DE WAHLBACH	73
FIGURE 56 : CONTRIBUTION A LA DEPOLLUTION DES ZRV ETUDIEES, PAR RAPPORT AU FLUX ARRIVANT AUX STEU	75
FIGURE 57 : RENDEMENTS EPURATOIRES DES ZRV, CALCULES A PARTIR DES FLUX ENTRANT A LA STEU EN TEMPS SEC	76
FIGURE 58 : RENDEMENTS EPURATOIRES DES ZRV, CALCULES A PARTIR DES FLUX ENTRANT A LA STEU EN TEMPS DE PLUIE	78
FIGURE 59 : ACCUMULATION DE BOUES ET DECHETS SUR LA ZRV DE WAHLBACH-ZAESSINGUE - AERM	78
FIGURE 60 : MOYENNE MENSUELLE DES RENDEMENTS EPURATOIRES DES ZRV MIS EN RELATION AVEC LES MOIS DE PRELEVEMENT... ..	79
FIGURE 61 : DTS DETERMINEE A PARTIR DES TRAÇAGES A LA SRB POUR LES TROIS ZRV ETUDIEES	80

Tableaux

TABLEAU 1 : NOMBRE DE BILANS REALISES PAR STATION.....	10
TABLEAU 2 : CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DE LA STEU DU S.I.A DE LUTTER – RAEDERSDORF	19
TABLEAU 3 : CARACTERISTIQUES DES CHARGES POLLUANTES A TRAITER.....	19
TABLEAU 4 : PERFORMANCES EPURATOIRES DEMANDEES POUR LA STEU DU S.I.A DE LUTTER – RAEDERSDORF	20
TABLEAU 5 : CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DE LA ZRV.....	21
TABLEAU 6 : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE LA ZRV.....	21
TABLEAU 7 : CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DE LA STEU DE LIEBSDORF	22
TABLEAU 8 : CARACTERISTIQUES DES CHARGES POLLUANTES A TRAITER.....	23
TABLEAU 9 : PERFORMANCES EPURATOIRES DEMANDEES POUR LA STEU DE LIEBSDORF	23
TABLEAU 10 : CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DE LA ZRV (COMPRENANT LES DEUX NOUES).....	24
TABLEAU 11 : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES D'UNE NOUE DE LA ZRV.....	24
TABLEAU 12 : CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DE LA STATION D'EPURATION DU SIVOM DE WAHLBACH – ZAESSINGUE	26
TABLEAU 13 : CARACTERISTIQUES DES CHARGES POLLUANTES A TRAITER.....	26
TABLEAU 14 : PERFORMANCES EPURATOIRES DEMANDEES POUR LA STEP DU SIVOM DE WAHLBACH – ZAESSINGUE.....	26
TABLEAU 15 : CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DE LA ZRV.....	27
TABLEAU 16 : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE LA ZRV.....	28
TABLEAU 17 : INCERTITUDES PRIS EN COMPTE DANS LE CALCUL DES RENDEMENTS EPURATOIRES (SOURCE : IRSTEA)	30
TABLEAU 18 : QUANTITES DE TRACEURS INJECTEES.....	33
TABLEAU 19 : DETAIL DES COUTS DE L'ETUDE DES TEMPS DE SEJOUR ET DE LA DISTRIBUTION HYDRAULIQUE FAITE PAR L'ENGEES/ICUBE.....	37
TABLEAU 20 : CONCENTRATIONS MOYENNES DE L'EAU EN ENTREE DE ZRV - LUTTER	43
TABLEAU 21 : CONCENTRATIONS MOYENNES DE L'EAU EN SORTIE DE ZRV - LUTTER.....	43
TABLEAU 22 : PARAMETRES DETERMINES A PARTIR DES COURBES DE TRAÇAGE - ZRV DE LUTTER.....	52
TABLEAU 23 : CONCENTRATIONS MOYENNES DE L'EAU EN ENTREE DE ZRV – LIEBSDORF.....	53
TABLEAU 24 : CONCENTRATIONS MOYENNES DE L'EAU EN SORTI DE ZRV – LIEBSDORF	54
TABLEAU 25 : PARAMETRES DETERMINES A PARTIR DES COURBES DE TRAÇAGE - ZRV DE LIEBSDORF	63
TABLEAU 26 : CONCENTRATIONS MOYENNES DE L'EAU EN ENTREE DE ZRV – WAHLBACH	64

TABLEAU 27 : CONCENTRATIONS MOYENNES DE L'EAU EN SORTI DE ZRV – WAHLBACH.....	65
TABLEAU 28 : PARAMETRES DETERMINES A PARTIR DES COURBES DE TRAÇAGE - ZRV DE WAHLBACH	73
TABLEAU 29 : CARACTERISTIQUES DE L'EFFLUENT EN ENTREE DE STEU - LUTTER.....	90
TABLEAU 30 : CARACTERISTIQUES DE L'EFFLUENT EN SORTIE DE STEU - LUTTER.....	90
TABLEAU 31 : RENDEMENT EPURATOIRE DE LA STEU CALCULE A PARTIR DES CONCENTRATIONS - LUTTER	91
TABLEAU 32 : RENDEMENT EPURATOIRE DE LA STEU CALCULE A PARTIR DES FLUX - LUTTER	91
TABLEAU 33 : PERFORMANCES EPURATOIRES DEMANDEES POUR LA STEU DU SIA DE LUTTER - RAEDERSDORF	92
TABLEAU 34 : CARACTERISTIQUES ET CONCENTRATION DE L'EFFLUENT EN SORTIE DE ZRV - LUTTER	93
TABLEAU 35 : RENDEMENT EPURATOIRE DE LA ZRV CALCULE A PARTIR DES CONCENTRATIONS – LUTTER	94
TABLEAU 36 : RENDEMENT EPURATOIRE DE LA ZRV CALCULE A PARTIR DES FLUX DE POLLUTION – LUTTER	94
TABLEAU 38 : CARACTERISTIQUES DE L'EFFLUENT EN SORTIE DE STEU - LIEBSDORF	95
TABLEAU 37 : CARACTERISTIQUES DE L'EFFLUENT EN ENTREE DE STEU - LIEBSDORF	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
TABLEAU 40 : RENDEMENT EPURATOIRE DE LA STEU CALCULE A PARTIR DES CONCENTRATIONS – LIEBSDORF	96
TABLEAU 39 : RENDEMENT EPURATOIRE DE LA STEU CALCULE A PARTIR DES FLUX – LIEBSDORF	96
TABLEAU 41 : PERFORMANCES EPURATOIRES DEMANDEES POUR LA STEU DE LIEBSDORF.....	97
TABLEAU 42 : CARACTERISTIQUES ET CONCENTRATION DE L'EFFLUENT EN SORTIE DE ZRV – LIEBSDORF	98
TABLEAU 44 : RENDEMENT EPURATOIRE DE LA ZRV CALCULE A PARTIR DES FLUX DE POLLUTION – LIEBSDORF	99
TABLEAU 43 : RENDEMENT EPURATOIRE DE LA ZRV CALCULE A PARTIR DES CONCENTRATIONS – LIEBSDORF	99
TABLEAU 45 : CARACTERISTIQUES DE L'EFFLUENT EN ENTREE DE STEU - WAHLBACH	100
TABLEAU 46 : CARACTERISTIQUES DE L'EFFLUENT EN SORTIE DE STEU – WAHLBACH	100
TABLEAU 47 : RENDEMENT EPURATOIRE DE LA STEU CALCULE A PARTIR DES CONCENTRATIONS – WAHLBACH.....	101
TABLEAU 48 : RENDEMENT EPURATOIRE DE LA STEU CALCULE A PARTIR DES FLUX – WAHLBACH	101
TABLEAU 49 : PERFORMANCES EPURATOIRES DEMANDEES POUR LA STEU DE WAHLBACH	101
TABLEAU 50 : CARACTERISTIQUES ET CONCENTRATION DE L'EFFLUENT EN SORTIE DE ZRV – WAHLBACH.....	102
TABLEAU 51 : RENDEMENT EPURATOIRE DE LA ZRV CALCULE A PARTIR DES CONCENTRATIONS – WAHLBACH.....	102
TABLEAU 52 : RENDEMENT EPURATOIRE DE LA ZRV CALCULE A PARTIR DES FLUX DE POLLUTION - WAHLBACH	102

1 Introduction

On dénombre actuellement sur le bassin près de 200 ZRV. La carte disponible en **annexe 1** recense l'ensemble des ZRV sur le bassin Rhin-Meuse.

Le SDAGE Rhin-Meuse modifié précise que :

- ❖ Il est recommandé d'étudier la faisabilité d'un dispositif de ZRV à la sortie des STEU ou réseaux de rejets des eaux pluviales nouvellement créés. Ces dispositifs auront pour vocation à organiser un rejet au travers d'une zone « rustique » naturelle reconstituée de surface maximum en fonction de la place disponible ;
- ❖ Lors de la construction de tout nouvel ouvrage d'assainissement, il est recommandé d'accroître l'emprise foncière afin de pouvoir adapter, au besoin, le traitement aux éventuelles variations de débit liées au changement climatique et de mettre en place des ZRV.

Ces ouvrages relèvent dans leur conception d'une approche davantage liée au génie écologique qu'au génie des procédés. On regroupe ces ouvrages sous le vocable de Zones de Rejet Végétalisées (ZRV). Le traitement assuré par les stations d'épuration se révèle parfois insuffisant pour préserver la qualité des milieux aquatiques fragiles, en particulier en tête de bassins versants lors des périodes d'étiage.

Depuis quelques années, des Zones de Rejet Végétalisées (ZRV) ont été construites à l'aval des stations d'épuration dans l'objectif d'atténuer les effets de leurs rejets. Cependant, leur conception et leur réalisation restent pour l'instant empiriques, et leurs performances méconnues. Environ 200 ZRV sont ainsi actuellement en fonctionnement sur le bassin Rhin-Meuse. Cette tendance va se poursuivre car les enjeux en matière d'assainissement pour le traitement du temps sec concernent des communes rurales de plus petites tailles : 90% des communes cibles inscrites au programme de mesures comptent moins de 500 EH et 30% des masses d'eau du bassin sont dégradées par des rejets d'eaux usées de temps sec.

Face à cet important développement, les différents acteurs de l'eau - maîtres d'ouvrage, services de Police de l'Eau, bureaux d'études ou encore entreprises aimeraient avoir à leur disposition des retours d'expériences sur leurs capacités épuratoires mais aussi mieux appréhender leur exploitation, dimensionnement, leur coût, et leur entretien. Depuis le début de ces campagnes, un certain nombre de recherches ont également été lancées sous l'égide de l'actuelle Agence Française de la Biodiversité (AFB, anciennement ONEMA), et d'autres acteurs publics et privés. L'AFB a résumé les éléments disponibles dans un document sorti en 2017 « [Les ZRV : repères scientifiques et recommandations pour la mise en œuvre](#) ». Les trois STEU étudiées sont des FPREV à deux étages équipées d'une ZRV située entre le deuxième étage de filtration et le milieu naturel. Ces trois ZRV sont de morphologies différentes : une mare, deux noues parallèles et des noues élaborées. Les débits et concentrations (DCO, DBO5, NH₄, NK, NO₂, NO₃, MES et Pt) ont été mesurés en entrée de

STEU et en entrée et sortie de ZRV pour permettre de faire des bilans massiques. Une étude sur les Temps de Séjours et la Distribution hydraulique (DTS) a été réalisée sur chaque ZRV étudiée et a permis de dresser les capacités hydrodynamiques des ouvrages à un instant donné.

L'AERM dispose donc d'un ensemble de données correspondant au fonctionnement des ouvrages en temps sec et en temps de pluie ainsi que de l'évolution de ces derniers.

	Lutter- Raedersdorf (2010-2016)	Liebsdorf (2009-2016)	Wahlbach- Zaessingue (2011-2013)
Bilans temps sec	32	21	7
Bilans temps de pluie	1	7	5

Tableau 1 : Nombre de bilans réalisés par station

Une étude de suivi des temps de séjour hydrauliques, menée par l'ENGEES en 2013, a également permis de définir une méthodologie de traçage adaptée et appliquée à ces 3 ZRV. Les résultats sont présentés dans la partie « Temps de séjour et hydrodynamique des trois ZRV ».

Dans un premier temps, une description des ZRV via la bibliographie ainsi que le contexte des ZRV sur le bassin Rhin-Meuse est proposée. Dans un second temps, sont présentées les méthodologies utilisées. Enfin, les résultats des différentes études sont présentés et interprétés avant de conclure sur les avantages et inconvénients ainsi que les caractéristiques du fonctionnement des ZRV.

2 Contexte général

2.1 Contexte national

2.1.1 D'un point de vue réglementaire

L'arrêté du 21 juillet 2015 mis à la consultation du public en 2015 définit une ZRV comme :

Article 2 : « Zone de Rejet Végétalisée : un espace aménagé entre la station de traitement des eaux usées et le milieu récepteur superficiel de rejets 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 ».

D'un point de vue réglementaire, les ZRV ne font donc pas partie des STEU. La ZRV peut être une prairie, un bassin, une noue/fossé ou un aménagement utilisant des matériaux rapportés.

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

2.1.2 ZRV, Zones humides et bandes enherbées

Par ailleurs, les ZRV ne sont pas considérées comme des zones humides car il n'y a pas de « présence prolongée d'eau d'origine naturelle » alors que les articles L.211-1 du Code de l'Environnement et l'article R.211-108 et arrêté du 24 juin 2008 modifié, signifient respectivement que :

« ...on entend par zone humide les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire... » ;

« Les critères à retenir, pour la définition des zones humides [...] sont relatifs à la morphologie des sols liée à la présence prolongée d'eau d'origine naturelle [...] ».

Les dispositions des articles précédents ne sont pas applicables aux cours d'eau, plans d'eau et canaux, ainsi qu'aux infrastructures créées en vue du traitement des eaux usées ou des eaux pluviales.

Par ailleurs, les « bandes enherbées » sont spécifiques à l'atténuation des pollutions diffuses (pesticides, engrais, sédiments, etc.), notamment en agriculture.

Les ZRV ne sont donc ni des zones humides ni des bandes enherbées².

² « Bandes enherbées » : Les bandes enherbées sont des dispositifs à couvert herbacé jouant un rôle de zone tampon car pouvant intercepter ou réduire des flux hydriques chargés de contaminants d'origine agricole. Elles sont "rivulaires" (situées le long des cours d'eau), "de versant" si disposées transversalement à la pente, ou "en coin" en cas de parcelles à doubles pentes (EPNAC, 2013).

2.1.3 Infiltration des eaux traitées

L'atelier ZRV de l'EPNAC distingue deux situations, dépendantes de la permanence de l'infiltration :

- ❖ Pour les STEU non concernées par l'infiltration totale et permanente des eaux usées traitées, l'atelier ZRV propose l'application du logigramme (**annexe 2**), indépendamment de leur taille. Ce logigramme est extrait du rapport «[Contenu des études préalables à la réalisation d'une ZRV](#)» (EPNAC, 2013). Cette démarche pragmatique, permettrait, en fonction des situations, de réduire l'écart et d'améliorer l'acceptabilité du coût des études qui peut parfois dépasser le montant des travaux pour une étude complète.
- ❖ Si le milieu récepteur nécessite une infiltration totale et permanente des eaux usées traitées, le SPE doit exiger l'application de l'article 8 de l'arrêté du 21 juillet 2015, rubrique « ouvrage d'infiltration » : il requiert donc systématiquement une étude hydrogéologique, avec avis d'hydrogéologue agréé pour les stations d'épuration de taille supérieure à 200 EH. Pour les ouvrages de taille inférieure ou égale à 200 EH, l'atelier ZRV propose l'application du logigramme.

Cette démarche pragmatique, en accord avec la proposition de révision de l'arrêté permettrait d'adapter le coût des études en fonction des situations.

2.1.4 Accès des ZRV au public

Selon la réglementation actuelle en matière d'assainissement (arrêté du 21/07/2015), deux interprétations peuvent être soutenues :

Si l'on considère que la ZRV ne fait pas partie des installations de traitement, la lecture de l'article 7 n'imposerait pas la clôture. En effet, la définition retenue de la ZRV mentionne que « Cet aménagement ne fait pas partie du dispositif de traitement mais est inclus dans le périmètre de la station ». L'autosurveillance réglementaire est bien demandée en sortie de station d'épuration et donc en amont de la ZRV.

Si l'on considère que la ZRV est un aménagement avant le rejet et qu'elle fait partie de l'ensemble des installations, la clôture est nécessaire selon l'article 7.

Au regard de la responsabilité du maire en terme de risque sanitaire ou de sécurité publique, le groupe recommande de clôturer ces ZRV selon les règles de l'art (Direction des affaires économiques et internationales, 2003) et dans la limite de coûts acceptables. Ces protections sont d'autant plus justifiées si des eaux usées non traitées sont déversées, à titre tout à fait « exceptionnel », dans la ZRV (trop plein de bassin d'orage, déversoir en tête de station, by-pass). Si l'aménagement de la ZRV est rendu attractif, la clôture s'impose.

Dans le cas de coûts jugés prohibitifs et si les risques sont minimes (très faible hauteur d'eau, accès difficile au public...), l'aménagement paysager de la ZRV devra être pensé pour limiter l'accès direct à l'eau, via écrans végétaux, panneaux, modelés du terrain, etc.

A minima, des mesures devront être prises pour informer et interdire l'accès du public par une signalisation adéquate.

2.1.5 ZRV et zone de captage pour l'eau potable

En appliquant le logigramme précédent, l'hydrogéologue agréé détermine la distance à respecter en zone de captage (usages sensibles). Si d'autres réglementations existent (Code de la Santé publique : périmètre de protection, règlements d'urbanisme : PLU, règlements communaux ou intercommunaux d'assainissement, etc.) des contraintes de distances plus sévères par rapport aux captages AEP et puits peuvent s'appliquer.

Ne sera pas concernée par cette partie, la ZRV qui est rendue totalement étanche par une géomembrane (cas des rejets différés dans le temps).

2.1.6 Responsabilité du maître d'ouvrage

Au titre de son pouvoir de police générale, le maire doit veiller à la salubrité publique sur le territoire de sa commune, au besoin en se référant aux dispositions contraignantes du Règlement Sanitaire Départemental³ (RSD).

En résumé, le maire engage effectivement sa responsabilité en laissant le libre accès des ZRV au public. La plupart des ZRV du bassin Rhin-Meuse sont clôturées avec la STEU. Cependant, certaines d'entre elles sont en accès libre.

2.2 Caractéristiques et fonctionnalité des ZRV

Les ZRV peuvent ainsi se définir comme des espaces aménagés entre la STEU et le milieu récepteur. **Elles ne constituent pas d'un point de vue réglementaire une étape du dispositif de traitement.** Elles ont en effet pour but de contribuer, dans une certaine mesure, à la réduction des impacts des rejets sur le milieu récepteur. La création de ces milieux humides artificiels est également propice à l'accueil de la biodiversité (Agence de l'Eau Rhin Meuse, 2011).

Les ZRV fournissent des services qui peuvent être décrits par quatre fonctions principales ([Malamaire, ARPE, 2009](#)) :

- La rétention des boues ou macro-déchets

³ Le RSD constitue un document de référence incontournable pour les autorités locales en matière d'hygiène. De même, l'Article L. 2122-27 du Code Général des Collectivités Territoriales, charge le maire, en sa qualité de représentant de l'État dans sa commune, de l'exécution des lois et règlements.

- La dispersion du rejet
- Le lissage hydraulique
- L'abattement complémentaire de la pollution

Pour l'AERM, ces zones ont avant tout vocation à créer un raccordement « doux » vers le milieu naturel, sans canalisation, et d'améliorer la biodiversité par la création de zones humides supplémentaires et/ou la diversification de milieux ([Zone de rejet végétalisée, un concept qui fait ses preuves pour protéger le milieu naturel dans le bassin Rhin-Meuse](#)). L'abattement de certains macropolluants semble prometteur pour quelques paramètres, bien que dans des proportions variables. L'intérêt des ZRV dans l'abattement des micropolluants a été étudié récemment dans le cadre d'une thèse réalisée à l'ENGEEES intitulée « [Devenir des résidus médicamenteux et de leurs métabolites au sein des Zone de Rejet Végétalisées](#) (Nuel, 2017)».

2.2.1 Définition et typologie

En fonction des objectifs assignés aux ZRV, des surfaces disponibles et des caractéristiques du site d'implantation, les milieux à créer peuvent être très divers. On distingue parmi ces aménagements, les mares, les noues, et le chenal méandreux.



Figure 2 : Chenal méandreux – ZRV Chicourt (57)



Figure 1 : Mare – ZRV Chicourt

Ces différents milieux peuvent être combinés sur un même site et accompagnés d'habitats complémentaires tels que des prairies humides, roselières, ou boisements (Agence de l'Eau Rhin Meuse, 2011).

Le document édité par l'Agence Régionale de Protection de l'Environnement PACA ([Malamaire, 2013](#)) propose une méthodologie simple de choix et de conception de ZRV selon certains objectifs recherchés dans son secteur d'intervention: infiltration en sortie de traitement ou rétention de MES en cas de départ de la filière de traitement notamment.

2.2.2 Dimensionnement

Les recommandations s'appuient essentiellement sur le bon sens et les premiers retours d'expérience. Le dimensionnement des ZRV est à l'heure actuelle limité à une approche empirique. Celui-ci consiste bien souvent à assigner au résiduel d'espace disponible autour de la station le rôle de traiter un flux, plutôt que de déterminer cette surface en fonction d'objectifs définis (Boutin et al., 2010).

Par exemple, la brochure éditée par l'AERM (Agence de l'Eau Rhin Meuse, 2011) recommande de profiter au maximum des surfaces disponibles ou potentiellement mobilisables (acquisitions foncières possibles). Comme le souligne le point réalisé par Boutin et al., 2010, la bibliographie, qu'elle soit internationale ou nationale, fournit actuellement encore peu d'éléments quantifiés sur les performances des systèmes. Il est donc impossible de fournir des règles de conception et de dimensionnement précises en fonction des objectifs assignés.

La surface ramenée à l'Equivalent-Habitant (EH) constitue le principal paramètre de dimensionnement : selon l'AERM (Agence de l'Eau Rhin Meuse, 2011), les surfaces observées sur différentes ZRV varient généralement de 1 à 3 m² / EH. Il est néanmoins nécessaire d'intégrer dans le dimensionnement de la zone la perméabilité du sol et sous-sol.

2.2.3 Rôle des végétaux dans le traitement des eaux usées

Les végétaux absorbent de l'azote et du phosphore pour se développer. Cependant cette absorption se révèle négligeable, au regard des quantités de nutriments entrants dans le système. De plus, seule la récolte des parties aériennes des végétaux permet d'exporter ces faibles quantités d'azote et de phosphore captées.

Les végétaux sont utilisés pour une dépollution ciblée des sols contaminés par des polluants identifiés (phytoremédiation). Cependant les métaux lourds sont présents en très faible concentration dans les eaux usées et les emprises en jeu ne permettent pas un abattement significatif. C'est pourquoi les quantités de métaux pouvant être absorbées sont négligeables.

La pollution carbonée n'est pas absorbée pas les végétaux. En effet, ils utilisent le gaz carbonique de l'air pour se développer par photosynthèse. La pollution carbonée est dégradée par les microorganismes présents dans le substrat et/ou fixés aux racines des végétaux.

De nombreux micropolluants organiques sont quant à eux éliminés par photodégradation sous réserve d'un temps de passage de l'eau au moins supérieur à 30 jours et en absence de couvert végétal de surface.

À la base des végétaux, de petits orifices se créent grâce au mouvement perpétuel dû à l'action du vent. Ces derniers permettent à l'eau de s'écouler au travers de toute la surface

de boue. Au sein des massifs filtrants par-exemple, les racines des végétaux créent des chemins préférentiels. L'eau est ainsi répartie de manière homogène sur tout le volume du dispositif (EPNAC, 2014). Les végétaux peuvent ainsi favoriser la percolation de l'effluent (décolmatage), mais n'améliorent pas la perméabilité d'origine.

Le rôle biologique des végétaux se limite à augmenter la surface de support aux microorganismes via les racines et les tiges. Les végétaux offrent en général des conditions thermiques optimales aux microorganismes :

- En été ils assurent un ombrage, limitent la pénétration des UV, et favorisent le maintien de conditions appropriées de fraîcheur et d'humidité ;
- En hiver, l'activité des microorganismes est moins affaiblie grâce à une isolation thermique rendue possible par la couverture végétale, à condition que celle-ci soit laissée en surface.

Les contraintes et les coûts d'exploitation engendrés par la présence des végétaux comme les interventions d'entretien régulières sont à prendre en compte. Ces derniers peuvent s'avérer conséquents (EPNAC, 2014). On distingue parmi ces contraintes :

- Le faucardage des végétaux et exportation des parties aériennes ;
- Le contrôle du développement de la végétation invasive, selon besoin ;
- Le désherbage non chimique des plantes indésirables, selon besoin et selon la filière (ex : liserons en filtres plantés de roseaux).

Les végétaux rejettent également des exsudats racinaires (sels minéraux, enzymes...), substances stimulant l'activité des microorganismes. Le végétal, par sa photosynthèse, a un rôle variable dans l'oxygénation du dispositif extensif. Les algues microscopiques, en eau libre, sont les seuls végétaux à fournir l'oxygène nécessaire aux microorganismes assurant la dégradation des polluants (EPNAC, 2014). A l'inverse, même si les végétaux enracinés rejettent de l'oxygène dans l'environnement immédiat de leurs radicelles, cet apport est négligeable vis-à-vis de celui réalisé par diffusion atmosphérique depuis la surface et celui accompli par convection lié à la circulation des eaux.

3 Partenaires de l'étude de suivi des performances épuratoires

En octobre 2009, un partenariat entre les entités administratives concernées a permis la mise en place d'un suivi analytique sur trois ZRV, à savoir :

- le Syndicat Intercommunal d'Assainissement (SIA) de Lutter-Raedersdorf ;
- la commune de Liebsdorf ;
- le Syndicat à Vocation Multiple (SIVOM) de Wahlbach-Zaessingue ;

- le Service d'Assistance Technique aux Exploitants de Station d'Épuration du Haut-Rhin (SATESE 68) ;
- le Conseil Général du Haut-Rhin (CG 68) ;
- l'AERM.

Ce retour d'expérience concernant les ZRV est le premier sur le bassin Rhin-Meuse. L'AERM est le maître d'ouvrage de la présente étude.

3.1 Agence de l'eau Rhin-Meuse

L'AERM est un établissement public du ministère chargé du développement durable. Elle participe à la mise en œuvre des politiques nationales relatives à l'eau, qui s'inscrivent elles-mêmes dans les objectifs de l'Union Européenne. Sa zone de compétence couvre trois régions et 8 départements (Bas-Rhin, Haut-Rhin, Moselle, Meurthe-et-Moselle dans leur totalité ; Ardennes, Haute-Marne, Meuse, Vosges en partie). L'agence de l'eau Rhin-Meuse assure une mission d'intérêt général et contribue ainsi à réduire les pollutions de l'eau de toutes origines et à protéger les ressources en eau et les milieux aquatiques :

- Grâce à des interventions financières (soutien à des investissements) ;
- Par la construction et le développement d'outils de planification ;
- Par la production et l'exploitation de données sur l'eau pour la connaissance, la gestion et l'évaluation.

3.2 Conseil départemental du Haut-Rhin

Le conseil départemental du Haut-Rhin est l'assemblée délibérante du département français du Haut-Rhin, collectivité territoriale décentralisée. Ce suivi est cofinancé à parts égales par le CG 68 sur ses fonds propres et par l'AERM, sous la forme d'une subvention accordée au CG 68.

3.3 ENGEES/ICUBE

Le laboratoire ICube est une unité mixte de recherche (UMR7357) sous la cotutelle de l'Université de Strasbourg, du CNRS, de l'École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES) et de l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Strasbourg. Le groupe « Traitement des Eaux et Rhéologie » est composé d'enseignants chercheurs de l'ENGEES. Il mène des recherches en sciences environnementales axées sur une meilleure compréhension des mécanismes physico-chimiques au sein des ouvrages destinés au traitement des effluents. Certains bilans de la présente étude ont été réalisés dans le cadre d'une thèse effectuée à l'ENGEES (Devenir de 81 substances médicamenteuses et de leurs métabolites au sein des zones de rejet végétalisées).

4 Sites étudiés

4.1 SIA de Lutter – Raedersdorf

4.1.1 Données générales

Les communes de Lutter et de Raedersdorf se trouvent dans le Sud du département du Haut-Rhin (68), à 25 km de la ville de Bâle en Suisse. Elles comptent respectivement 286 et 511 habitants⁴ et sont de type « rural ». A noter la présence d'une école d'une cinquantaine d'élèves sur la commune de Lutter et de trois exploitations agricoles sur la commune de Raedersdorf.

En 2014, 112 habitations de la commune de Raedersdorf sont raccordées à la station d'épuration et un peu moins des deux tiers de ces habitations disposent encore d'équipement de prétraitement de type « fosse septique » ou « fosse toutes eaux ». Il y a donc 280 Equivalents - Habitants⁵ (EH) raccordés sur les 500 EH initialement prévus. Le réseau d'assainissement de la commune est principalement de type unitaire.

En 2014, seules 10 habitations de la commune de Lutter dotées de fosse septiques encore en service sont raccordées à la station de traitement. La part de pollution provenant de cette commune a été estimée à 300 EH. Le réseau d'assainissement est à très forte prédominance séparatif (90% du réseau communal).

En conclusion, sur les 808 EH des deux villages, seuls 300 EH sont actuellement raccordés au réseau d'assainissement, soit un taux de raccordement de 41%.

4.1.2 Milieu récepteur

Les communes de Lutter et de Raedersdorf font partie du bassin hydrographique de l'III. Au début du projet, il était prévu que les effluents de la STEU se rejettent dans l'III (évaluée de qualité moyenne pour l'état écologique en 2015 à la station de mesure d'Oltingue) qui se trouve à plus de 310 mètres du terrain prévu pour la STEU. Ce rejet aurait nécessité la pose d'une canalisation avec un passage sous une route communale et départementale.

En accord avec le service de Police de l'Eau du Haut-Rhin et avec l'AERM, il a été convenu que les effluents pouvaient se rejeter dans le ruisseau le Birquelé, attenant à la STEU et qui est un affluent indirect de l'III, sous réserve de mettre en place un traitement de finition, de type ZRV.

La création de la ZRV a pour but de diminuer les flux de pollution rejetés dans le milieu, considéré comme sensible au vu de :

⁴ Nombre d'habitant en 2014. Valeurs INSEE

⁵ Hypothèse : 1 foyer est égal à 2,5 EH

- Son très faible débit en période d'étiage ;
- Sa faible pente qui autorise une "dynamique" hydromorphologique limitée ;
- Son état physique dégradé par un tracé rectiligne et un manque de végétation qui ne favorise pas l'autoépuration.



Figure 4 : Ruisseau le Birquelé



Figure 3 : Vue aérienne de la zone (Géoportail)

4.1.3 Capacité de la STEU

La capacité de traitement de l'installation est de 808 EH. Les charges hydrauliques et organiques à traiter sont les suivantes :

	Débit journalier (m ³ /j)
Débit temps sec eaux usées	122
Débit eaux claires parasites	128
Débit temps sec	250
Débit maximal temps de pluie	450
Débit de référence	450

Tableau 2 : Caractéristiques hydrauliques de la STEU du S.I.A de Lutter – Raedersdorf

Paramètres (<i>Temps sec</i>)	Charge polluante (kg/j)
DBO5	48,5
DCO	116,4
MEST	48,5
NK	9,7

Tableau 3 : Caractéristiques des charges polluantes à traiter

4.1.4 Performances attendues de la STEU

Cette STEU a été implantée là où le milieu récepteur est sensible et fragile. Les contraintes de rejet sont donc plus sévères que celles dictées par l'arrêté du 21 juillet 2015.

Paramètres	Rendements (%)	Concentration (mg/L)
DBO5	90	25
DCO	90	125
MES	85	35
NK	75	10

Tableau 4 : Performances épuratoires demandées pour la STEU du S.I.A de Lutter – Raedersdorf

4.1.5 Caractéristiques de la ZRV

La ZRV étudiée récupère :

- Les eaux traitées de la station ;
- Le trop-plein du poste de relevage situé en entrée de station lorsque celui-ci est actif en temps de pluie (déversoir d'orage) ainsi que tous les by-pass de la station.

Par temps de pluie, la ZRV permet un marnage du niveau de l'eau. Elle peut ainsi tamponner les rejets du déversoir d'orage situé en entrée de la station. La ZRV a été réalisée en déblais. L'étanchéité du fond (nécessaire pour obtenir un milieu en eau de façon permanente) a été assurée par la mise en place d'une couche d'argile compte tenu d'une perméabilité du sol en place relativement importante. Quelques photographies sont présentées en **annexe 9**.

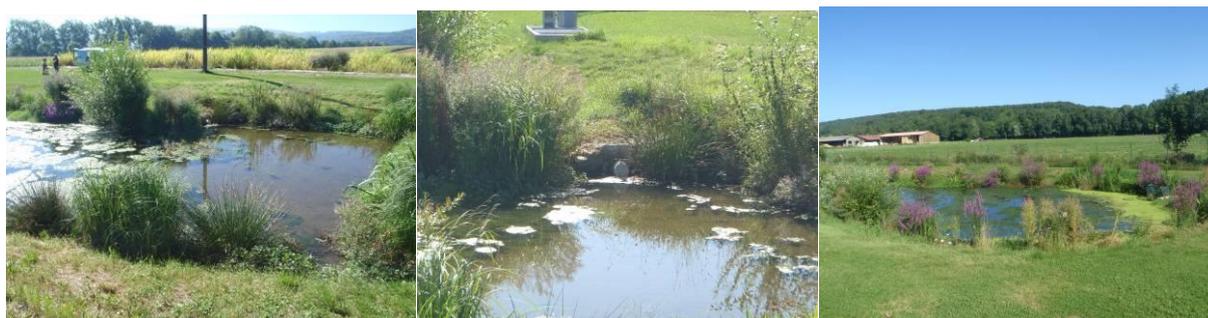


Figure 5 : La ZRV de Lutter après deux années de fonctionnement - (M.Nuel – AERM)



Figure 6 : Coupe longitudinale de la ZRV au moment de la construction

Les données générales sur le dimensionnement de la ZRV sont présentées dans les tableaux ci-après :

	Temps Sec	Débit de référence
Débit (m ³ /j)	250	450
Temps de séjours (h) ⁶	41	23

Tableau 5 : Caractéristiques hydrauliques de la ZRV

Type	Surfacique - Bassin (Mare)
Forme	Allongée
Pente de la berge	1 pour 4
Profondeur (m)	0,1 à 0,9
Surface (m ²)	750
Surface par Habitant (m ² / hab)	0,77
Volume (m ³)	425

Tableau 6 : Caractéristiques physiques de la ZRV

La zone a été construite avec des berges à pente douce. Le sol fut quant à lui imperméabilisé avec de l'argile et le fond de la mare ensemencé avec des végétaux adaptés aux milieux humides. Les berges sont sinueuses et la profondeur variée.

Ces aménagements ont eu pour effets observables quelques mois après les travaux, la mise en place de milieux diversifiés avec des zones sèches de haut de berge, des milieux humides de transition en suivant le profil en pente douce des berges et des zones aquatiques au centre de la mare.

4.2 Commune de Liebsdorf

4.2.1 Données générales

La commune de Liebsdorf se situe dans le Sud du département du Haut-Rhin et se trouve à 40 km de la ville de Bâle. Elle compte 339 habitants⁷ et est de type « rural ». À noter la présence d'une exploitation agricole sur la commune qui toutefois ne rejette pas ses effluents dans le réseau.

Actuellement, 124 habitations sont connectées au réseau d'assainissement collectif mais 49 sont encore équipées de fosse septique. Par ailleurs, 3 habitations équipées d'un système de

⁶ Temps de séjours = Volume de la ZRV (m³) / Débit (m³/h)

⁷ Nombre d'habitant en 2014. Valeurs INSEE

traitement autonome ne sont pas raccordées au réseau. Le réseau de la commune est mixte à prédominance unitaire.

En conclusion, sur les 350 EH de la commune, 310 EH sont actuellement raccordés au réseau d'assainissement, soit un taux de raccordement de 88%.

4.2.2 Milieu récepteur

La commune de Liebsdorf fait partie du bassin hydrographique de l'III. Le milieu récepteur est un fossé nommé le Liebsdorfergraben. C'est un affluent indirect de la Largue qui, en 2008, était classé en qualité bonne avec un objectif très bonne.

La ZRV a été créée pour limiter l'impact de la station sur le milieu récepteur dont le débit d'étiage est très faible. Les végétaux plantés (aulnes, saules, peupliers) ont pour objectif de réduire les volumes rejetés grâce à leur évapotranspiration et de participer à l'épuration des flux de pollution avant rejet dans le milieu naturel. Il s'agit d'un traitement de finition.

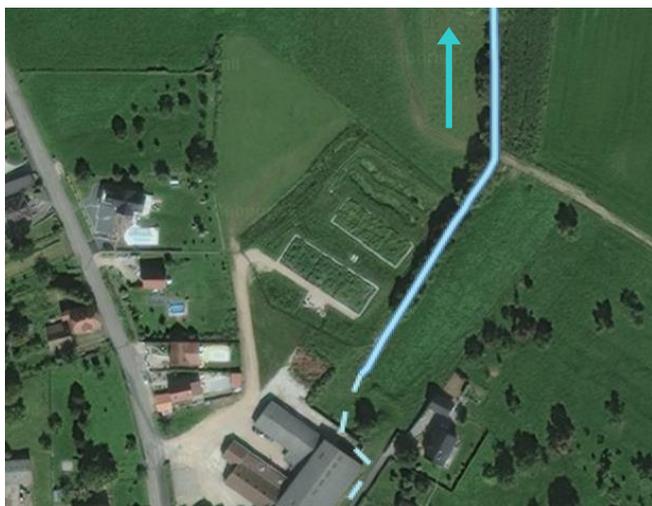


Figure 7 : Vue aérienne (Geoportail.fr)



Figure 8 : Fossé le Liebsdorfergraben

4.2.3 Capacité de la STEU

La capacité de traitement de l'installation est de 300 EH. Les charges hydrauliques et organiques à traiter sont les suivantes :

Paramètres (<i>Temps Sec</i>)	Débit journalier (m ³ /j)
Débit temps sec eaux usées	77
Débit eaux claires parasites	19
Débit temps sec	96
Débit maximal temps de pluie	204
Débit de référence	201

Tableau 7 : Caractéristiques hydrauliques de la STEU de Liebsdorf

Paramètres (<i>Temps Sec</i>)	Charge polluante (kg/j)
DBO5	18
DCO	35
MEST	32
NK	3,6
Phosphore total	0,9

Tableau 8 : Caractéristiques des charges polluantes à traiter

4.2.4 Performances attendues de la STEU

La ZRV a été implantée là où le milieu récepteur est sensible et fragile. Les contraintes de rejet sont donc plus sévères que celles dictées par l'arrêté du 21 juillet 2015.

Paramètres	Rendements (%)	Concentration (mg/L)
DBO5	90	25
DCO	80	100
MES	95	30
NH4	Mai à septembre : 95 %	5 mg/L
	Reste de l'année : 50%	

Tableau 9 : Performances épuratoires demandées pour la STEU de Liebsdorf

4.2.5 Caractéristiques de la ZRV

La ZRV a été réalisée en déblais. L'étanchéité du fond est assurée par le sol en place. Elle est composée de deux noues parallèles. Quelques photographies sont présentées en **annexe 10**.



Figure 9 : La ZRV de Liebsdorf après trois années de fonctionnement – (M.Nuel – AERM)

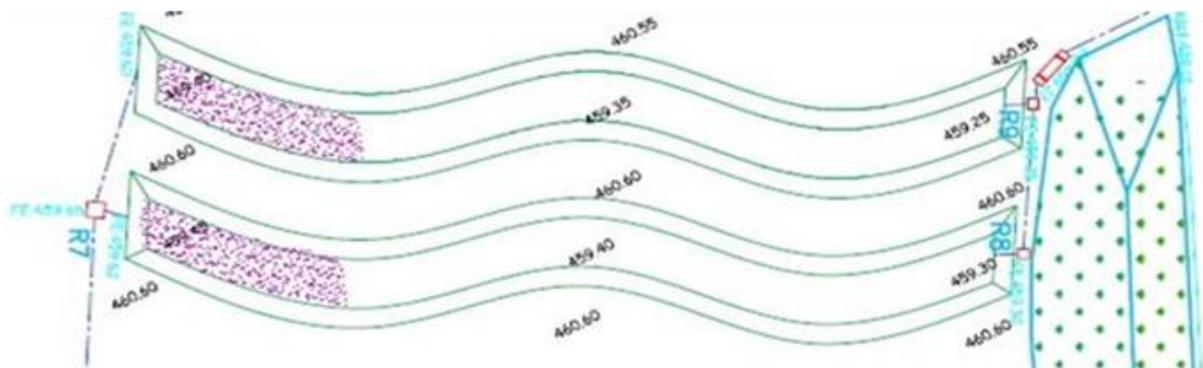


Figure 10 : Extrait du plan de récolement (l'arrivée se fait par le regard R7 et l'évacuation par R8 et R9)

Le débit arrivant aux noues est réparti depuis le regard R7 de la façon suivante : un tiers pour la noue ayant le regard R8 comme évacuation et deux tiers pour la deuxième. Les données générales sur le dimensionnement de la ZRV sont présentées dans les tableaux ci-après :

	Temps Sec	Débit de référence
Débit (m ³ /j)	96	201
Temps de séjours (h) ⁸	12,5	6

Tableau 10 : Caractéristiques hydrauliques de la ZRV (comprenant les deux noues)

Type	Fossé/Noue
Pente des berges	1 pour 1
Longueur	38
Largeur au fond	1,67
Profondeur (m)	0,4
Surface unitaire (m ² / Noue)	63
Surface par Habitant (m ² / hab.)	0,36 ⁹
Volume (m ³)	25

Tableau 11 : Caractéristiques physiques d'une noue de la ZRV

La ZRV a été construite en profitant du sol initialement en place. Les vitesses d'écoulement sont inférieures à 0,3 m/s et les berges sont sinueuses. Des plantes locales et adaptées aux milieux humides ont été plantées.

⁸ Temps de séjours = Volume de la ZRV (m³) / Débit (m³/h)

⁹ En considérant la surface d'une noue (63 m²) et la moitié du nombre d'habitant (175 EH)

4.3 SIVOM de Wahlbach – Zaessingue

4.3.1 Données générales

Les communes de Wahlbach et de Zaessingue se situent dans le Sud du département du Haut-Rhin à mi-chemin entre les villes de Mulhouse et de Bâle. Elles abritent respectivement 496 et 388 habitants et sont de type « rurale ». Notons la présence sur la commune de Wahlbach de deux hôtels-restaurants dont la capacité est d'environ 35 chambres, et de deux exploitations agricoles en assainissement non collectif. Le réseau est mixte (50 % unitaire et 50 % séparatif).

Actuellement la commune de Wahlbach compte 17 habitations qui sont en assainissement autonome mais qui doivent être raccordées au réseau collectif. Par ailleurs 153 foyers sont déjà connectés.

En revanche, les 130 habitations de la commune de Zaessingue concernées par l'assainissement collectif sont raccordées au réseau de collecte.

Pour conclure, 650 EH¹⁰ sont raccordés à la station de traitement, et 40 EH sont encore en assainissement non collectif. 80% des immeubles seraient raccordés au réseau via une fosse septique. La STEU est prévue pour recevoir une pollution de 800 EH provenant du SIVOM, soit un taux de collecte de 81%.

4.3.2 Milieu récepteur

Ces deux communes font partie du bassin hydrographique de l'Ill et les effluents traités de la station se rejettent dans le ruisseau le Wahlbach, affluent indirect de l'Ill. Le ruisseau le Thalbach, qui reçoit les eaux du ruisseau le Wahlbach et qui se déverse dans l'Ill a été classé en 2015 en qualité moyenne et a pour objectif le bon état en 2027.

Au vu des faibles débits d'étiage du ruisseau le Wahlbach, un étage de traitement de finition a dû être ajouté entre la STEU et le milieu récepteur. L'objectif principal de cette ZRV est de diminuer les flux de pollution rejetés dans le milieu naturel.



Figure 11 : Vue aérienne (Extrait du site Geoportail.fr)

¹⁰ Hypothèse : 1 foyer est égale à 2,3 EH



Figure 12 : Ruisseau le Wahlbach

4.3.3 Capacité de la STEU

La capacité de traitement de l'installation est de 800 EH. Les charges hydrauliques et organiques à traiter sont les suivantes:

		Débit journalier (m ³ /j)
Débit temps sec eaux usées		96
Débit eaux claires parasites	Nappe Basse	48
	Nappe Haute	192
Débit total temps sec	Nappe Basse	144
	Nappe Haute	288
Débit maximal temps de pluie		336
Débit de référence		288

Tableau 12 : Caractéristiques hydrauliques de la station d'épuration du SIVOM de Wahlbach – Zaessingue

Paramètres (<i>Temps Sec</i>)	Charge polluante (kg/j)
DBO5	40
DCO	88
MEST	72
NK	8,8
PT	1,2

Tableau 13 : Caractéristiques des charges polluantes à traiter

4.3.4 Performances attendues

La ZRV a été implantée là où le milieu récepteur est sensible et fragile. Les contraintes de rejet sont donc plus sévères que celles dictées par l'arrêté du 21 juillet 2015.

Paramètres	Rendements (%)	Concentration (mg/L)
DBO5	90	20
DCO	80	80
MES	/	20
NH4	/	5 mg/L

Tableau 14 : Performances épuratoires demandées pour la STEP du SIVOM de Wahlbach – Zaessingue

4.3.5 Caractéristiques de la ZRV

En sortie du second étage de traitement, les effluents circulent à travers une ZRV avant de rejoindre le milieu récepteur. La ZRV a été conçue en utilisant au mieux la place disponible entre la station et le cours d'eau. Quelques photographies sont présentées en **annexe 11**.



Figure 13 : La ZRV de Wahlbach après une année de fonctionnement – (M.Nuel – AERM)



Figure 14 : Extrait du plan de récolement

Le débit issu du second étage de filtration est divisé en deux parties égales pour alimenter les deux noues. Les données générales sur le dimensionnement de la ZRV sont présentées dans les tableaux ci-après :

	Temps Sec	Débit de référence
Débit (m ³ /j)	144	288
Temps de séjours (h) ¹¹	2,93	1,47

Tableau 15 : Caractéristiques hydrauliques de la ZRV

¹¹ Temps de séjours = Volume de la ZRV (m³) / Débit (m³/h)

Type	Fossé/noue élaborée
Forme	Méandreuse
Pente de la berge	2 pour 1
Profondeur (m)	0,2
Surface totale (m ²)	180
Surface par Habitant (m ² / hab)	0,27
Volume (m ³)	36

Tableau 16 : Caractéristiques physiques de la ZRV

Cette ZRV respecte les recommandations suivantes :

- Profiter au maximum de l'espace disponible pour faire méandrer le chenal et proposer une longueur maximale ;
- Cibler des vitesses d'écoulement inférieures à 0,3 m/s ;
- Diversifier les profondeurs en allant jusqu'à -0,8 m ;
- Connecter le chenal à des mares ;
- Profiter du sol initialement en place ;
- Pas d'enrochement ;
- Ensemencer des végétaux adaptés aux milieux humides et proscrire les plantes exotiques et envahissantes.

5 Méthodologie

Le savoir acquis sur ces trois ouvrages par l'AERM provient majoritairement des bilans de fonctionnement réalisés par le CD68 ainsi que de l'étude des temps de séjour réalisée par l'ENGEES/ICUBE. Sept des bilans présents dans cette étude ont également été réalisés dans le cadre de la thèse effectuée à l'ENGEES entre 2015 et 2016. L'étude des temps de séjour a pour objectif d'évaluer le comblement de la ZRV depuis son fonctionnement ainsi que les modèles d'écoulement et les régimes de dispersion. Les méthodologies sont détaillées ci-après.

5.1 Suivi des ZRV et bilan de fonctionnement

5.1.1 Protocole du bilan de fonctionnement

Le suivi est réalisé sur la période allant de 2009 à fin 2016 par les services du CD 68 dans le cadre de l'activité du SATESE. Il comporte six bilans 24 heures par année, à savoir quatre campagnes sur la période des mois de juin à septembre (une par mois), et deux campagnes sur la période hivernale. La répartition temporelle des analyses a été choisie en fonction de la croissance des plantes pour représenter au mieux le fonctionnement de la ZRV.

Ces bilans 24 heures consistent en un prélèvement d'échantillons représentatifs de la qualité de l'effluent entrant et sortant des ouvrages étudiés sur une période de 24 heures. Les préleveurs automatiques sont installés en entrée et sortie de STEU ainsi qu'en sortie de ZRV. De plus, ils sont reliés à des débitmètres (ici de type bulle à bulle) pour que le prélèvement soit asservi au débit. Pour chaque point de prélèvement, on obtient ainsi un échantillon moyen de 24 heures. La mesure du débit se fait quant à elle via des canaux venturi ou des pompes dans les postes de relèvement (voir en fonction des STEU étudiées).

Les visites bilan de fonctionnement des sites étudiés font l'objet d'un rapport d'une dizaine de pages où sont précisés :

- La qualité de l'effluent en entrée de station ;
- Les variations de débit d'eau brutes ;
- Les différents taux caractérisant le fonctionnement de la station (taux de charge hydraulique, taux de charge organique, taux de dilution, etc.) ;
- Les rendements épuratoires de chaque étage ;
- Les conditions météorologiques et la pluviométrie ;
- La consommation énergétique au cours du bilan ;
- L'état et l'entretien des équipements ;
- Un focus sur les ZRV.

Certaines de ces campagnes de mesure ont été réalisées au cours de journées pluvieuses. Leur nombre limité ne permet néanmoins pas une analyse fine des résultats (voir partie 6 Focus sur le temps de pluie).

5.1.2 Paramètres chimiques analysés

Les prélèvements, ainsi que les mesures de débits, ont été réalisés en entrée de station d'épuration, à la sortie du deuxième étage de traitement et en sortie de ZRV. Lors des campagnes estivales, les paramètres suivants ont été analysés : DCO, DBO5, NH_4^+ , NK, NO_3^- , NO_2^- , NGL (somme de NK, NO_3^- et NO_2^-), MES et Pt. Pour des raisons d'économies de réactifs, lors de la période hivernale, la DBO5 et le NK n'ont pas été quantifiés.

La réalisation de la campagne de suivi a été l'occasion de récupérer toutes les informations utiles quant aux modalités d'exploitation et de fonctionnement des dispositifs.

5.1.3 Observation de terrain et suivi photographique

Afin d'appréhender au mieux l'évolution de la végétation, des photographies ont été prises lors de chaque campagne de mesure. Ces clichés sont réalisés sous le même angle et au même endroit. Ils retracent donc de manière rigoureuse la colonisation et le développement des végétaux, pendant les huit premières années de fonctionnement de la ZRV. Ce suivi photographique est visible en **annexe 9, 10 et 11**.

5.2 Traitement des données

5.2.1 Calculs des rendements épuratoires

La première étape de l'exploitation des résultats concerne la plage de validité des données. En effet, toute quantification est sujette à une imprécision relative causée par l'appareillage de mesure et aux méthodes analytiques utilisées. Ainsi, chaque résultat analytique est présenté avec une valeur moyenne et une incertitude associée, comme indiqué dans le tableau 16 ci-après :

Paramètre	DBO5	DCO	MES	NH_4^+	NK	NO_2^-	NO_3^-	Pt
Incertitude	20%	12%	25%	10%	10%	5%	6%	6%

Tableau 17 : Incertitudes pris en compte dans le calcul des rendements épuratoires (source : IRSTEA)

La figure 15 ci-dessous illustre la méthodologie employée pour le calcul des rendements épuratoire :

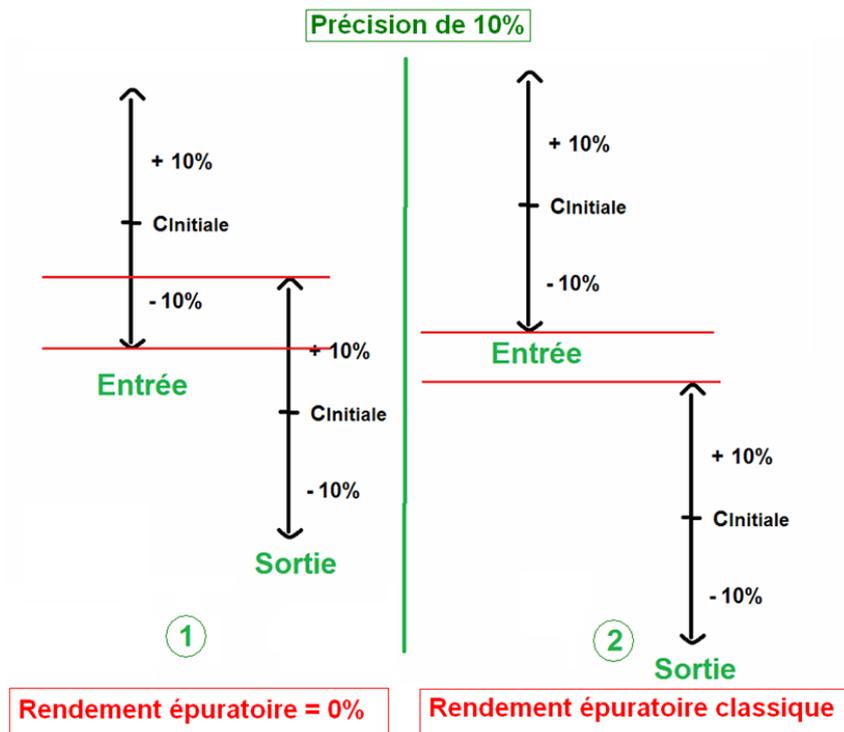


Figure 15 : Illustration du calcul des rendements épuratoires

Si les plages de données des concentrations en entrée et sortie se chevauchent, elles sont considérées comme potentiellement égales (voir cas 1 sur la figure 15), ce qui justifie la présence de rendements nuls. Seules les valeurs en entrée et en sortie de ZRV dont les plages de données ne se chevauchent pas, permettent de calculer des rendements (voir cas 2 sur la figure 15).

Cette méthodologie a été appliquée pour tous les paramètres mesurés et pour calculer des rendements soit en concentration ou en flux de pollution. Leur interprétation se fait selon le contexte de l'étude (temps pluvieux ou temps sec, STEU by-passée).

Des termes spécifiques ont été choisis lors de l'interprétation des rendements épuratoires observés. A savoir si les rendements épuratoires sont :

- Inférieurs ou égal à 1 % : rendements « faibles » ;
- Compris entre 1 % et 5 % : rendements « limités » ;
- Compris entre 5 % et 10 % : rendements « significatifs » ;
- Supérieurs à 10 % : rendements « importants ».

5.2.2 Critiques de la méthodologie

Suite au suivi effectué par le CD68 et au traitement des données expliqué précédemment, les points suivants doivent être pris en compte pour l'interprétation des résultats :

- Au maximum, six bilans 24 heures sont disponibles chaque année (excepté dans le cadre de la thèse). Une année de suivi ne traduit ainsi que 6 journées de fonctionnement sur les 365 jours annuels. De plus, les performances des ZRV dépendent des conditions climatiques. Les rendements moyens épuratoires annuels calculés donnent un aperçu des tendances épuratoires des ZRV, mais ne permettent pas d'avancer des rendements chiffrés et précis ;
- Des échanges d'eau entre les ZRV et le sous-sol ont été constatés. Or, le présent suivi ne prend en compte ni les volumes, ni la qualité d'eau de ces échanges. L'interprétation des rendements épuratoires n'en est que plus difficile. Ce point a par exemple été pris en compte par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne dans le cadre de projet en cours sur des zones d'infiltration, mais en implantant une série de piézomètres sur ses ZRV ;
- Les analyses réalisées par le SATESE respectent les normes AFNOR. Ces normes précisent des seuils de quantification en-dessous desquels la valeur cherchée n'est plus assez précise pour être connue. Cette limite aurait dû être prise en compte dans les calculs. Cependant, au vu des très faibles concentrations en sortie de STEU, le SATESE 68 renseigne ses bilans par les valeurs obtenues sans prendre en compte les limites de quantification. Cette démarche est justifiée par une validation des valeurs grâce à l'utilisation d'une autre méthode plus précise (titrage) et qui donne les mêmes résultats. Ainsi toutes les valeurs en sortie de ZRV, aussi faibles soient elles, ont été prises en compte.

5.3 Temps de séjours et dispersion hydraulique dans les ZRV

La Distribution des Temps de Séjour (DTS) présente la gamme des durées qu'une particule fluide, et donc un contaminant, peut mettre pour traverser un hydrosystème donné (ouvrage de traitement, zone humide...), de l'entrée à la sortie. La DTS est un paramètre caractéristique de tout aménagement au sein duquel se déroulent des réactions chimiques, physiques ou biologiques.

- L'analyse de la DTS permet de diagnostiquer/quantifier les :
- Temps de séjour moyen ;
- Variance de la distribution ;
- Dispersion au sein du réacteur ;
- Court-circuit hydrauliques ;
- Zones mortes ;

- Recirculations internes.

En prenant en compte ces paramètres, il est alors possible d'optimiser les futures constructions de ZRV afin de tendre vers un temps de séjour le plus pertinent au vu de la géographie des ouvrages.

5.3.1 Intérêts du multi traçage

La méthodologie adoptée est l'utilisation simultanée de plusieurs traceurs. Le chlorure de sodium est utilisé comme traceur purement conservatif tandis que deux traceurs fluorescents (uranine (UR) et Sulforhodamine) aux propriétés distinctes permettent d'évaluer les potentialités de photodégradation et de sorption dans les ouvrages (Lange et al., 2011).

5.3.2 Protocole du traçage

5.3.2.1 Injection du traceur

Les expériences de traçage se sont déroulées à l'été 2013, les 3 et 4 juillet à Liebsdorf, le 10 juillet à Wahlbach ainsi que le 31 juillet et le 5 août à Lutter.

Pour chaque site étudié, trois traceurs différents ont été utilisés, à savoir :

- la fluorescéine ou uranine (notée UR, formule brute : $C_{20}H_{10}Na_2O_5$) ;
- la sulforhodamine B (notée SRB, formule brute : $C_{27}H_{29}N_2NaO_7S_2$) ;
- le chlorure de sodium ($NaCl$).

Pour chaque expérience, l'injection de traceur est réalisée sous forme d'impulsion (injection de toute la quantité de traceur pendant un temps très court). Pour toutes les ZRV étudiées, cette injection a été réalisée au niveau du regard amont juste en aval du Venturi.

Les quantités de traceurs injectées pour chaque ZRV sont reportées dans le tableau 17. L'UR, la SRB et le sel ont été préalablement dilués dans respectivement 1L, 10L et 50L d'eau du réseau (Wahlbach, Lutter) ou de sortie de la ZRV (Liebsdorf).

	Liebsdorf	Wahlbach	Lutter
UR (g)	0,99	0,99	15
SRB (g)	10	8	100
NaCl (kg)	25	25	25

Tableau 18 : Quantités de traceurs injectées

5.3.2.2 Détection du traceur en sortie

Afin de détecter les traceurs en sortie de ZRV, le choix de mesures in-situ via des capteurs de terrains a été réalisé. La conductivité a été mesurée à l'aide de conductimètres YSI 6-series ou WTW Multiline P4 et reliée à la concentration en NaCl. Les analyses des traceurs fluorescents ont été réalisées à l'aide d'un fluorimètre de terrain GGUN-FL 30 (Albilis SARL, Neufchâtel, Suisse). L'étalonnage du fluorimètre de terrain a systématiquement été réalisé sur site en diluant des quantités connues de traceurs dans l'eau de sortie de la ZRV, ceci afin de tenir compte de l'influence des caractéristiques physico-chimiques des eaux étudiées (pH, température...). La constance du pH et de la température de l'eau durant l'expérience a été vérifiée par des mesures en continu.

5.3.3 Détermination des temps de séjour

Comme plusieurs traceurs sont utilisés dans le protocole, il est nécessaire d'adimensionnaliser les valeurs obtenues. Ainsi, la contrainte temporelle n'est plus à prendre en compte. Les courbes résultant de la mesure des traceurs en sortie d'ouvrage peuvent être comparées. Il est donc posé :

$$\theta = \frac{t}{\bar{t}} \text{ et } E(\theta) = E(t) \cdot \bar{t}$$

Avec : θ le temps adimensionné, t le temps (en seconde), \bar{t} le temps de séjour moyen, $E(t)$ la DTS (s^{-1}) et $E(\theta)$ la DTS adimensionnée.

Les paramètres ci-après sont à déterminer à partir des courbes de traçage :

Paramètre	Définition	Expression
τ	Temps de séjour théorique également appelé temps de passage	$\frac{V_{m^3}}{Q_{(m^3/h)}}$
t_i	Temps au bout duquel le traceur est détecté en sortie	Mesuré directement
t_i/τ	Indice de court-circuit	t_i/τ
\bar{t}_c	Temps séjours moyen temps moyen nécessaire à une particule pour traverser le réacteur (entrée à sortie)	$\bar{t}_c = \frac{\int_0^\infty tC(t)dt}{\int_0^\infty C(t)dt}$ ou $\bar{t}_c = \frac{\int_0^\infty tE(t)dt}{\int_0^\infty E(t)dt} = \int_0^\infty tE(t)dt$
σ_c^2	Variance centrée : détermine la dispersion de la distribution	$\sigma_c^2 = \frac{\int_0^\infty t^2C(t)dt}{\int_0^\infty C(t)dt} - (\bar{t}_c)^2$
V_A	Volume accessible au fluide : « mélange réel » au sein du réacteur	$V_A = Q \bar{t}_c$

Paramètre	Définition	Expression
V_m	Volume mort : Volume ne participant pas au mélange dans le réacteur	$V_m = V_R - V_A$ avec V_R le volume géométrique du réacteur (volume de contrôle)
λ	Efficacité hydraulique : paramètre tenant compte du volume utile et du degré de dispersion	$\lambda = \frac{t_m}{\tau} \left(1 - \frac{1}{N}\right)$ avec : <ul style="list-style-type: none"> • t_m : temps de séjour moyen (h) ; • τ : temps de séjour théorique (h) ; • N : nombre de RPA en cascade pour décrire l'écoulement

5.3.4 Critique de la méthode utilisée

Pour des études de traçages sur sites réels comme celles présentées dans ce document, il convient d'avoir conscience des limites posées par les conditions expérimentales. La théorie de l'hydrodynamique des réacteurs suppose la constance du débit d'alimentation et le caractère conservatif de l'écoulement. Dans le cas des ZRV étudiées, il est important d'examiner et d'avoir conscience de ces limites pour l'interprétation des résultats de traçages :

En entrée de ZRV, le débit est relativement lissé par le passage de l'effluent à travers les deux premiers étages de filtres plantés de roseaux. Pour chaque expérience, les chroniques des débits seront présentées. La validité relative de l'hypothèse de constance du débit a été vérifiée par calculs respectifs des taux de restitution du traceur. Ces calculs prennent en compte le débit variant au cours du temps et le débit moyen : dans tous les cas, la différence est inférieure à 5%. L'hypothèse de constance du débit a donc été validée ;

L'hypothèse de conservation du débit n'est pas validée dans la mesure où des apports d'eau significatifs (10 à 13% du débit sortant des ZRV) ont été constatés sur les ZRV de Liebsdorf et Wahlbach. Cependant, dans la mesure où il s'agit d'un apport d'eau, il n'y a pas de perte de traceur mais simplement une dilution, le bilan masse des traceurs fluorescents est d'ailleurs toujours proche de 100%. Pour le sel, les bilans ne sont pas bouclés systématiquement mais pour d'autres raisons qui sont évoquées dans les résultats.

Lors d'un traçage, la récupération d'un traceur conservatif doit être totale pour assurer la validité des résultats présentés. Les incertitudes et biais introduits par les expériences de terrain ont amené des taux parfois inférieurs mais toujours supérieurs à 80 %. Les valeurs calculées à partir des courbes de traçage et DTS correspondantes sont par conséquent valables pour la fraction totale de traceur récupérée en fin d'expérience.

Pour la ZRV de Lutter, le protocole d'injection des traceurs fluorescents a été modifié par rapport aux deux autres ZRV étudiées. En effet, le temps de séjour attendu est beaucoup plus long que pour les ZRV de Liebsdorf et Wahlbach (temps de passage théorique de plus de 40h). Pour des raisons logistiques et afin de limiter la durée des expériences, il a été décidé de procéder à une injection simultanée de la SRB et de la fluorescéine. Cette décision n'a été prise qu'après vérification sur site de la bonne séparation des signaux acquis pour les deux traceurs par le fluorimètre (Bocanegra, E-Martinez, D-Massone, H (eds), 2002).

5.4 Coûts du suivi général

5.4.1 Coûts des infrastructures pour le suivi sur site

5.4.1.1 SIA de Lutter-Raedersdorf

Le coût de construction de la station s'est élevé à 512 600 € HT tandis que celui de la ZRV s'évaluait à 16 500 € HT, ce qui représente **environ 3% du coût de la station de traitement des eaux usées** (valeurs en 2009).

La mise en place de la ZRV est une alternative acceptée par les services de police de l'eau à un déplacement du point de rejet vers un cours d'eau présentant une capacité de dilution plus élevée (l'III). Le projet de rejet dans l'III aurait nécessité la pose de 300 ml de canalisation, chiffrée à 55 000 € HT.

Le coût relativement élevé de cette ZRV par rapport à d'autres dispositifs de ce type (< 10 000 € en général) s'explique par :

- L'apport d'argile pour étanchéifier son fond ;
- La mise en place d'un canal venturi en sortie pour assurer le suivi.

5.4.1.2 Commune de Liebsdorf

Le coût de construction de la station s'est élevé à 270 000 € HT tandis que celui de la ZRV s'élève à 6 000 € HT, ce qui représente 2% du coût de la station d'épuration (valeurs en 2009). La pose d'un tuyau ayant la même longueur que la ZRV aurait coûté environ 8 000 € HT (environ 40 mètres).

5.4.1.3 SIVOM de Wahlbach-Zaessingue

Le coût total de la station s'est élevé à 566 000 € HT tandis que celui de la ZRV s'élève à 36 000 € HT, ce qui représente 6,4% du coût de la station d'épuration (valeurs en 2010). La pose d'un tuyau aurait coûté 9 000 € HT (environ 45 mètres). Le coût élevé de la ZRV s'explique par :

- Une profondeur importante des noues et une géométrie complexe ;

- La mise en place d'un canal venturi en sortie de la ZRV pour assurer le suivi.

5.4.2 Coûts du suivi réalisé par le SATESE 68

Le suivi de ces trois sites par le SATESE 68 représente un coût annuel de 21 780 € HT¹². Il prend en compte :

- Trois points de mesures sur chacun des trois sites à raison de six visites annuelles ;
- Le temps consacré aux prélèvements sur le terrain ;
- La distance entre le laboratoire et les sites étudiés ;
- La mobilisation de personnel qualifié ;
- Les analyses effectuées en laboratoire.

5.4.3 Coûts de l'étude des TSH et DSH réalisée par ENGEES/ICUBE

Ce chiffrage s'entend pour une expérience de multi traçage pour les trois sites envisagés. Le SATESE a mis à disposition de l'équipe la métrologie concernant les débits entrée et sortie durant l'expérience. Pour chaque site, quatre jours de manipulations sont considérés, à savoir : une journée d'observation du fonctionnement et préparation ainsi que trois jours de mesures par site. Les différents coûts sont présentés dans le tableau 19.

Détail	Montant (€ HT)
Amortissement matériel, consommables	500
Déplacements	750
Frais de personnel (3x4 jours de manipulation) + analyse données + rédaction rapport	5 500
Frais généraux	1 015
TOTAL	7 765

Tableau 19 : Détail des coûts de l'étude des temps de séjour et de la distribution hydraulique faite par l'ENGEES/ICUBE

Il est à noter que le chiffrage présenté dans le tableau 19 ne prend pas en compte l'achat du matériel nécessaire pour mener à bien cette étude mais uniquement l'amortissement de celui détenu par l'ENGEES. Seuls les frais de déplacement du personnel ont été pris en compte.

¹² L'accès à l'assistance technique du SATESE est sous réserve d'éligibilité aux services et aux frais d'entrée à régler par la commune (0,50 € par habitant).

6 Résultats

Les résultats du traitement des données issues du suivi du CG68 ainsi que toutes les informations caractéristiques recueillies sont présentées ci-après. L'étude sur les temps de séjour et leur distribution y est aussi abordée.

6.1 Suivi général

6.1.1 Dysfonctionnement

Bien que les ZRV soient des ouvrages au dimensionnement, à la construction et au fonctionnement simple, les retours d'expériences ont montré que celles de Lutter et de Wahlbach présentaient quelques dysfonctionnements.

6.1.1.1 ZRV de Lutter Raedersdorf

Dans la ZRV de Lutter, un développement important d'algues se produit pendant la période estivale. Ces dernières doivent être régulièrement extraites pour ne pas envahir voire boucher la conduite de sortie de l'ouvrage. Ce développement d'algues est probablement dû aux concentrations importantes en phosphore et nitrates en sortie de filtres plantés de roseaux. L'évolution de la ZRV, et en particulier le développement de la végétation semi-aquatique, devrait permettre à terme de trouver un équilibre entre les différentes espèces et ainsi réduire voire supprimer le développement de ces algues. Si ce n'était pas le cas, on pourrait alors envisager un boisement des rives Sud pour créer des zones ombragées et ainsi limiter le réchauffement des eaux, favorable à ce phénomène. Lors d'une visite effectuée en mai 2017 sur la ZRV de Lutter, l'exploitant a signalé qu'il y avait toujours la présence de lentilles d'eau par période chaude.



Figure 16 : Développement d'algues dans la mare (AERM / NUEL)

Dans l'attente de cet équilibre, l'exploitant a fait poser une grille afin d'éviter la migration de ces algues vers le milieu récepteur.

6.1.1.2 ZRV de Liebsdorf

Après quatre années de fonctionnement l'exploitant doit procéder à chaque début d'hiver, à l'extraction de la partie superficielle des roseaux qui se sont développées dans la ZRV. En effet, la densité de végétation est telle que si l'exploitant n'enlève pas ces dernières, la repousse des roseaux à l'année n+1 est gênée par la végétation de l'année antérieure qui est en cours de dégradation. L'opération est effectuée par un engin agricole équipé d'une pince. Les roseaux n'étant pas déracinés, ils repoussent l'année suivante.

De plus, les phénomènes d'exfiltrations sont à surveiller régulièrement.

6.1.1.3 ZRV de Wahlbach-Zaessingue

Cette ZRV présente deux dysfonctionnements majeurs :

Les pentes des berges étant trop abruptes (2 pour 1), on observe localement des glissements de terrains, provoquant une instabilité du sol près de la ZRV et contraignant l'exploitant de la station à ajouter des butées en contrebas des talus. De plus, ces pentes ne permettent pas une bonne repousse des végétaux sur leur flanc, les berges ne sont donc pas protégées de l'érosion par une couverture végétale ;



Figure 17 : Erosion localisée de la berge - AERM

Lors de période pluvieuse, des exfiltrations apparaissent à divers endroits dans la ZRV. Les conséquences sont multiples : non connaissance des débits et des flux de pollution apportés au système observé ainsi qu'une fragilisation des berges de l'ouvrage (risque élevé d'éboulement).

6.1.2 Entretien et espace vert

L'exploitation des ZRV de Lutter et de Wahlbach n'a à ce jour nécessité aucune intervention sur les ouvrages proprement dits. Seuls leurs abords ont été entretenus.

La ZRV de Liebsdorf nécessite quant à elle une extraction annuelle des parties aériennes des roseaux via une pince mécanique motorisée. Cette intervention a commencé après cinq années de fonctionnement lorsque que l'exploitant s'est rendu compte que les roseaux morts de l'année N ne permettaient pas aux roseaux de l'année N+1 de se développer correctement au sein de l'ouvrage.

Le coût d'entretien de ces ZRV reste faible. Ce dernier peut être divisé en trois zones d'intervention :

- **Le haut des berges :** Il s'agit de laisser les abords propres pour permettre la circulation à pied ou en voiture, ne serait-ce pour que l'exploitant puisse faire son contrôle visuel de routine. Une simple tonte est nécessaire ;
- **Les berges :** Généralement les pentes sont douces (1 pour 3) afin de créer les conditions idéales pour la pousse de la végétation spontanée. Dans cette étude deux des trois sites suivis présentent des pentes supérieures à 1 pour 1. Cependant sur les berges de la station de Liebsdorf, la végétation a pu s'implanter et se développer. En revanche, sur celle de Wahlbach, le manque d'humidité et la raideur de la berge sont des contraintes défavorables à la repousse de végétaux. Les recommandations de l'AERM sont de laisser évoluer naturellement ces ouvrages pendant les trois premières années de mise en fonctionnement ;
- **Le radier :** Cette zone peu profonde peut être à profondeur variable comme sur les ZRV de Lutter et de Wahlbach, ou de profondeur constante comme celle de Liebsdorf. Le développement des pousses d'arbre est à contrôler. En effet, si des arbres venaient à pousser dans cet endroit, ils compromettraient l'écoulement de l'eau.

Sur les bordures de berge ainsi que sur le radier, des végétaux semi-aquatiques (hélrophytes) tels que les laïches, joncs, massettes, iris, etc. ont été plantés. L'objectif recherché est d'utiliser des plantes locales et de proscrire les plantes invasives (voir plaquette ZRV de l'AERM, 2018).

Après seulement 2 années de fonctionnement, il a été observé un développement significatif de la végétation avec une bonne implantation des hélrophytes plantés malgré la concurrence d'espèces pionnières au développement « spontané » (chardons, oseilles des près, etc.). En laissant évoluer le milieu « naturellement », un écosystème s'est créé progressivement avec la présence d'habitats caractéristiques des zones humides et d'une faune inféodée à ces habitats (libellules, demoiselles et autres insectes).

6.1.3 Comblement des ZRV

6.1.3.1 Origines

Les ZRV sont sujettes au comblement par la matière organique qui s'y développe, meurt chaque année et s'y décompose. Le comblement de la zone peut aussi être dû aux apports de sédiments en temps de pluie.

En effet, les épisodes pluvieux provoquent un rinçage du réseau de collecte en amont et si le débit entrant à la STEU est supérieur au débit de référence alors les flux chargés de Matières En Suspension (MES) passent par le trop-plein de la station et se déversent dans la ZRV. Les vitesses d'écoulement y étant faibles, elles permettent une décantation. Ce phénomène est surtout observé pour la ZRV de Wahlbach en raison de sa capacité de stockage des eaux importante et de sa restitution lente au milieu naturel.

6.1.3.2 Curage

Un comblement de la ZRV aurait pour conséquence de diminuer le tirant d'eau et donc d'augmenter les vitesses d'écoulement. Une profondeur homogène entraînerait une forte réduction de la diversité floristique qui est assurée par les variations de profondeur.

Des curages seront donc à prévoir, mais il n'est pas possible pour le moment d'estimer de fréquence d'intervention. Les boues, mélange de matière organique et minérale (origine : décomposition des végétaux et curage des réseaux unitaires ou mixtes) peuvent être valorisées par l'épandage agricole dans les mêmes conditions que les boues issues des filtres plantés. Toutefois, il sera nécessaire de réaliser une analyse de cette boue pour déterminer les concentrations en polluants tels que les hydrocarbures, PCB ou les métaux lourds.

A noter toutefois qu'en 2012 la ZRV de Wahlbach a été complètement recouverte lors d'une crue du cours d'eau situé en amont de la STEU. Suite à cette inondation la ZRV a été complètement comblée par les sédiments et toutes les sur-profondeurs et mares ont été effacées. Seul un écoulement à vitesse rapide et à petite section en travers persiste.

6.2 Pertes et apports hydriques non contrôlés

Ces pertes et apports sont calculés par différences des débits mesurés en entrée et en sortie de ZRV pendant les bilans de fonctionnement et via les canaux venturés.

L'évaporation et l'évapotranspiration n'ont pas été calculées dans cette étude.

6.2.1 SIA de Lutter – Raedersdorf

Il apparaît à l'examen des différents bilans que globalement, malgré la présence de la couche d'argile, la ZRV semble infiltrer en moyenne 8m^3 d'eau par jour (soit 6% du débit entrant qui

est infiltré par jour). A cette valeur doit être intégrée également, en période sèche et chaude, une évaporation de l'ordre de 7m^3 (10 mm/jour pour une surface de 750m^2).

L'évapotranspiration végétale n'est pas significative pour cette ZRV compte tenu de la faible surface de plantation.

6.2.2 Commune de Liebsdorf

D'après l'étude des débits entrants et sortants de la ZRV, on constate qu'elle rejette au milieu plus d'eau qu'elle n'en reçoit (en moyenne des bilans de 4m^3 /jour, soit 2,3% du débit sortant de la ZRV). Cela traduit un apport d'eau par exfiltration ou ruissellement des abords de la ZRV.

Vu la densité de végétation qui recouvre les noues, l'évaporation doit être faible. En revanche l'évapotranspiration devrait être plus importante mais n'a pas été quantifiée.

6.2.3 SIVOM de Wahlbach – Zaessingue

D'après l'étude des bilans réalisés, il apparaît qu'en moyenne 5m^3 par jour est infiltré par la ZRV. Cette perte en eau représente donc 3cm ou encore 1,4% du débit entrant de la station.

À cette valeur doit être intégrée également en période sèche et chaude une évaporation de l'ordre de 2m^3 (10 mm/jour pour une surface de 180m^2). L'évapotranspiration végétale devrait être négligeable pour cette ZRV.

6.3 Performances épuratoires observées par ZRV

Les performances épuratoires détaillées ci-après expriment les concentrations moyennes en entrée et en sortie des différentes ZRV ainsi que les rendements épuratoires calculés à partir des flux de pollution (concentration x débit).

6.3.1 SIA de Lutter-Raedersdorf

6.3.1.1 Concentration en entrée et sortie de ZRV

Les concentrations ci-dessous ne concernent que des bilans temps sec (et avec un débit d'entrée à la STEU des effluents inférieur au débit de référence). Le débit de référence de la STEU de Lutter est de $450\text{m}^3/\text{j}$. Un focus sur le temps de pluie est présenté dans la partie :

6.3.1.3 « Focus sur les abattements épuratoires de la ZRV supérieurs à 5%».

Les concentrations en pollution carbonée (DBO5 et DCO) en entrée de ZRV mettent en évidence la bonne rétention et/ou dégradation de ce type de pollution par les FPREV, d'où des concentrations en entrée de ZRV relativement faibles. Les concentrations en MES, azote réduit (NK, NH₄) et phosphore le sont également.

Concentration eau (entrée de ZRV)	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	MES (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NK (mg/l)	NGL (mg/l)	Pt (mg/l)
Moyenne	11,02	30,13	16,13	1,65	3,81	29,64	2,66
Minimum	1,0	9,0	1,1	0,0	0,3	7,2	0,5
Maximum	172,0	150,0	288,0	5,6	10,0	69,0	4,9
Ecart type	32,3	27,6	51,7	1,2	2,4	13,5	1,2
Nombre de bilans	27	32	30	32	27	27	32
IC 95 %	[1 - 13]	[11 - 68]	[2 - 25]	[0 - 3]	[1 - 7]	[14 - 53]	[1 - 4]

Tableau 20 : Concentrations moyennes de l'eau en entrée de ZRV - Lutter

Concentration eau (sortie de ZRV)	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	MES (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NK (mg/l)	NGL (mg/l)	Pt (mg/l)
Moyenne	5,46	22,75	7,07	1,74	4,57	25,76	2,32
Minimum	2,0	8,0	1,0	0,2	1,0	7,5	0,5
Maximum	19,9	53,0	19,0	4,8	16,8	58,9	5,1
Ecart type	4,0	11,5	5,3	1,1	3,3	12,0	1,1
Nombre de bilans	27	32	30	32	27	27	32
IC 95 %	[2 - 13,8]	[9,6 - 42,5]	[2 - 18]	[0,3 - 3,3]	[1,3 - 9,9]	[11,5 - 49,8]	[0,6 - 4,1]

Tableau 21 : Concentrations moyennes de l'eau en sortie de ZRV - Lutter

Globalement la ZRV permet une réduction de la moyenne des concentrations de tous les polluants observés, hormis pour le NH₄⁺ et NK, mais les fourchettes de valeur basses et hautes évoluent peu (indice de confiance à 95%). En raison des phénomènes d'infiltration et d'exfiltration, il est intéressant de calculer les parts de la pollution entrant dans la STEU retenue et/ou dégradée par la STEU et la ZRV.

6.3.1.2 Complément épuratoire apporté par la ZRV

Les graphiques ci-après présentent la part de pollution (% de flux entrant à la station) éliminée par chaque étape de traitement : STEU et ZRV. Cette dernière ne prend en compte que les flux écoulés à travers les canaux venturis en entrée et en sortie de station et de ZRV. La part de pollution qui rejoint le sous-sol par infiltration, ou sort par exfiltration, n'est donc pas quantifiée. Par ailleurs, les temps de séjour hydraulique relativement long dans cette ZRV ne sont pas pris en compte dans l'interprétation des données de fonctionnement.

Cette analyse permet d'évaluer l'effet direct de la ZRV sur le milieu superficiel récepteur au niveau du rejet.

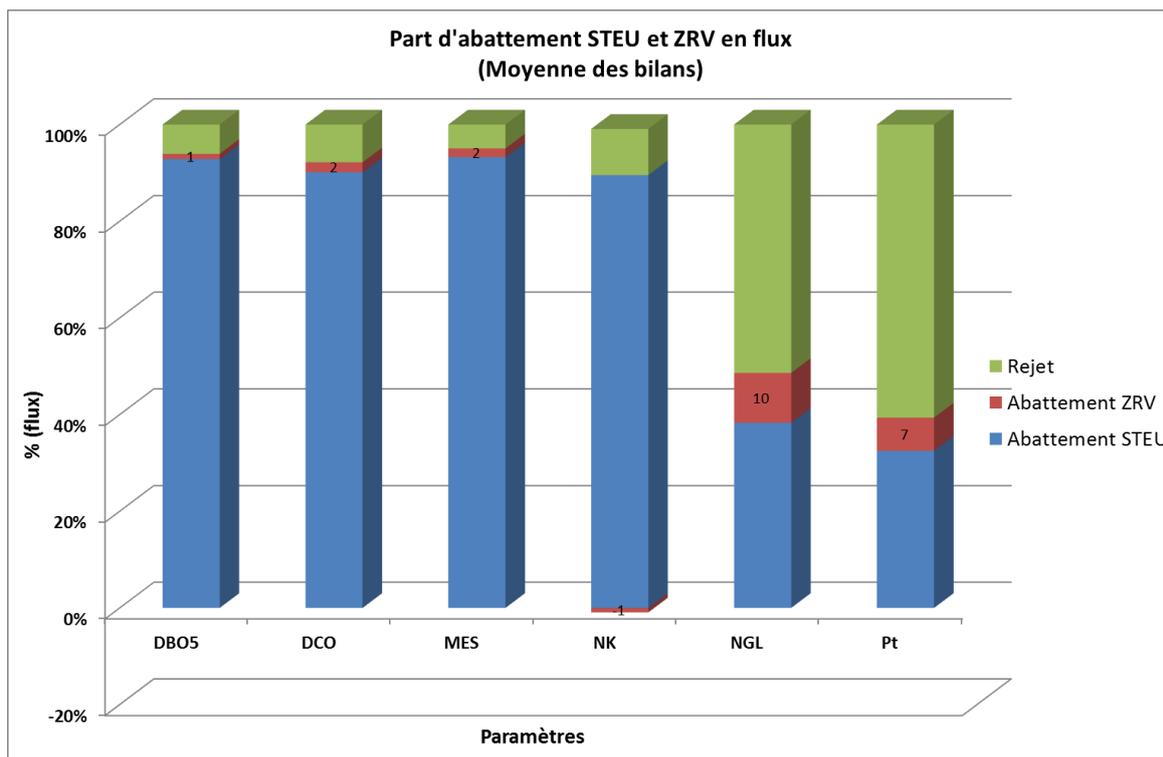


Figure 18 : Part d'abatement de la STEU et de la ZRV de la pollution reçue par la station - Lutter

Sur le graphique ci-dessus, on remarque que la plus grande partie de la pollution entrante dans la station (pollution organique et azote réduite) est traitée par les lits plantés de roseaux.

Néanmoins trois tendances apparaissent à l'examen du graphique au niveau de l'efficacité de la ZRV:

- L'effet sur le NK est nul ;
- L'effet relatif sur la DBO5, la DCO et les MES reste nul à limité (respectivement : 1 %, 2%, et 2 % du flux de pollution reçu par la station) ;
- L'effet relatif sur le NGL et le PT est significatif (réduction de 7 % du flux reçu par la station pour le Pt et de 10 % pour le NGL).

6.3.1.3 Focus sur les abattements épuratoires de la ZRV supérieurs à 5%

La ZRV intervient de manière non négligeable sur le phosphore total et sur le NGL (respectivement 7% et 11% sur la moyenne des bilans).

- **Le phosphore**

L'une des explications envisageables à l'abatement du phosphore est la présence de plusieurs végétaux aquatiques à croissance rapide. Par ailleurs, la ZRV de Lutter possède le temps de séjour hydraulique (TSH) moyen le plus long. Le retour d'expérience de l'AERM

met en évidence les bonnes performances des lagunes pour l'abattement du phosphore (avec des TSH de 80 jours environ).

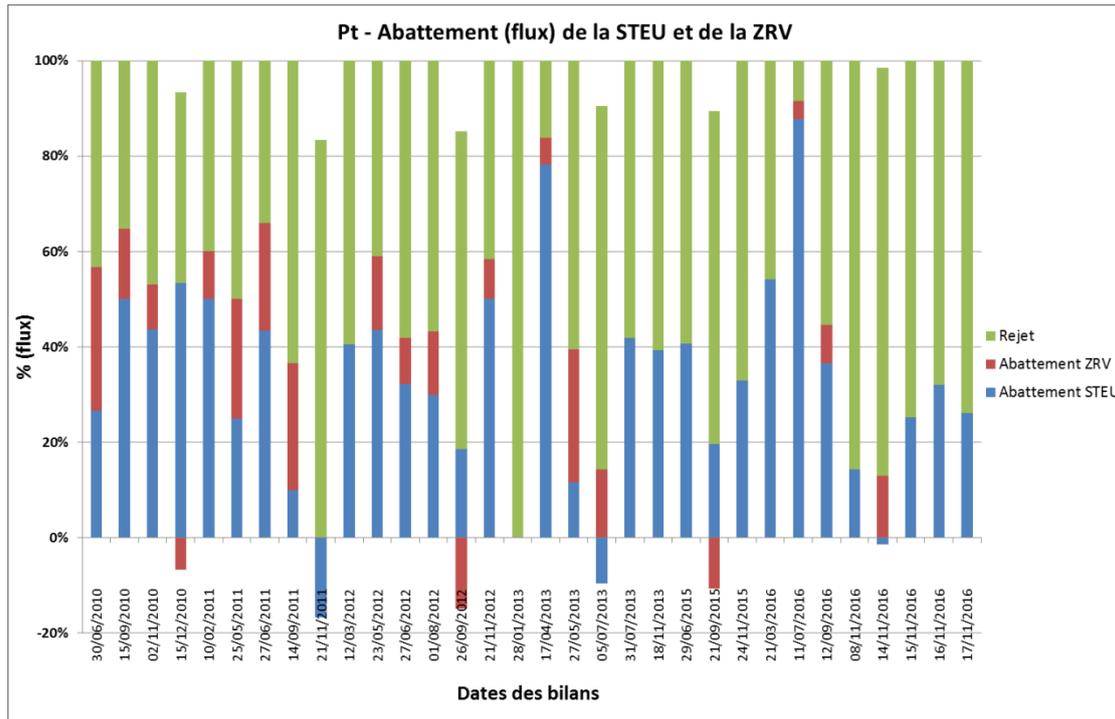


Figure 19 : Part d'abattement de la STEU et de la ZRV de la pollution en phosphore reçue par la station - Lutter

Le graphique ci-dessus représente la part d'abattement du phosphore traitée par les filtres plantés, celle traitée par la ZRV et celle rejetée dans le milieu naturel en fonction du flux en entrée de station et pour chaque bilan.

Le 15/12/10, la contribution de la ZRV à l'abattement du phosphore est de -8%. Autrement dit, celle-ci a relargué un flux de phosphore plus important que ce qu'elle n'a reçu. En effet, ce jour-là la ZRV avait un rendement de -13%. Néanmoins, les concentrations en entrée d'ouvrage étaient de 0,5 mg/l et de 0,6 mg/l. En sortie ces concentrations très faibles ont peu d'impact sur le milieu naturel d'autant plus que ce bilan a été réalisé un jour de précipitation neigeuse, donc de forte dilution.

Le 21/11/11 les FPRev ont relargué 25 % du flux arrivant à la STEU (concentration en tête de station égale à 1,6 mg/l et en sortie des filtres à 2 mg/l). La ZRV n'a joué aucun rôle sur l'abattement du phosphore ce jour-ci. Il y eu un relargage en Pt le 26/09/12 de l'ordre de 21%. Ce dernier s'explique par des concentrations en entrée et en sortie de 1,4 et de 1,8 mg/l. En plus de ces faibles concentrations, s'ajoute une diminution de la quantité de Pt rejetée dans le milieu via une réduction du volume passant dans la ZRV (diminution de 75 m³). Ce même phénomène est observé le 21/09/2015, avec une concentration en entrée de 4,3 mg/l et une concentration en sortie de 5,1 mg/l.

Le 05/07/13, un rendement négatif provenant de la STEU a été estimé à hauteur de 12%. Les concentrations en entrée et en sortie de STEU étaient respectivement de 1,7 et 1,9 mg/l.

Globalement, l'effet de la ZRV sur le phosphore est positif mais on voit une atténuation forte au bout de 3 ans avec ensuite des effets beaucoup plus limités sur la période 2013-2016.

- **L'azote global et NK**

L'azote global représente la somme de : NK, NO_2^- et NO_3^- . Sur le graphique ci-dessous, le NK est principalement dégradé par les filtres plantés. En effet, l'une des caractéristiques des FPREv est une bonne oxydation de la matière azotée. Le NK est donc transformé en NO_3^- . Cependant, les FPREv ne permettent pas une bonne dénitrification.

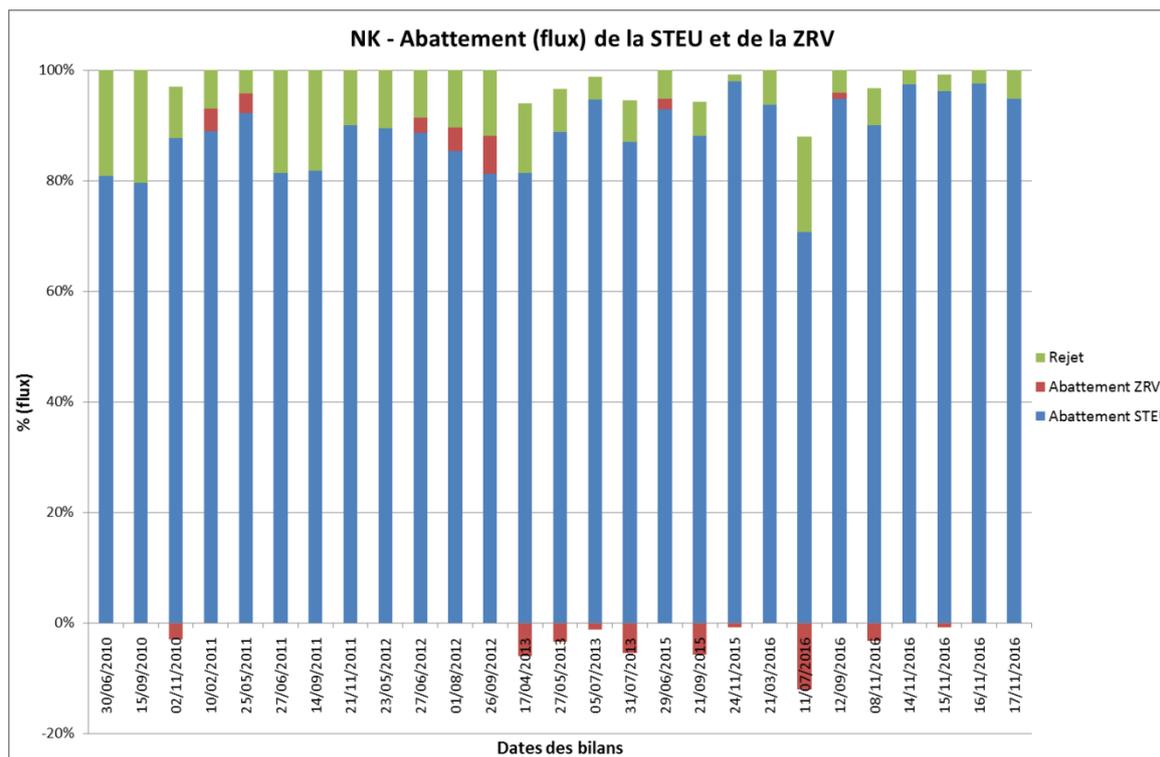


Figure 20 : Part d'abatement de la STEU et de la ZRV de la pollution en NK reçue par la STEU - Lutter

Les moyennes des concentrations en NK et en NO_3^- en entrée de STEU sont respectivement de 47,4 mg/l et 1,9 mg/l, et en sortie de 3,6 mg/l et 25,5 mg/l. La ZRV ne participe que très peu à l'abatement de la pollution en NK voire en relargue car la concentration en entrée est déjà faible.

La ZRV agit sur les nitrates en réduisant la valeur moyenne des bilans de fonctionnement de 25,5 mg/l à 20,9 mg/l de NO_3^- . En cumulant les effets sur les flux de NK, NO_2^- et NO_3^- , la ZRV permet bien un traitement de finition sur la matière azotée.

En revanche, on observe à partir du bilan du 17/04/2013 que la ZRV de Lutter a tendance à relarguer du NK, au bout de 2 ans de fonctionnement. Cette dégradation pourrait s'expliquer par un vieillissement progressif de la ZRV et une décomposition des végétaux. En effet, une étude de traçage montre qu'il y a peu de différence de traitement sur une saison alors que celle-ci est significative sur 2 ans. Ce vieillissement marqué de la ZRV peut alors créer de la

sédimentation, ce qui nécessiterait de curer la mare pour pallier ce problème (Chemical Engineering Journal, 321 (2017) 86-96).

Les concentrations très faibles en NK en entrée de ZRV amènent à relativiser ces conclusions.

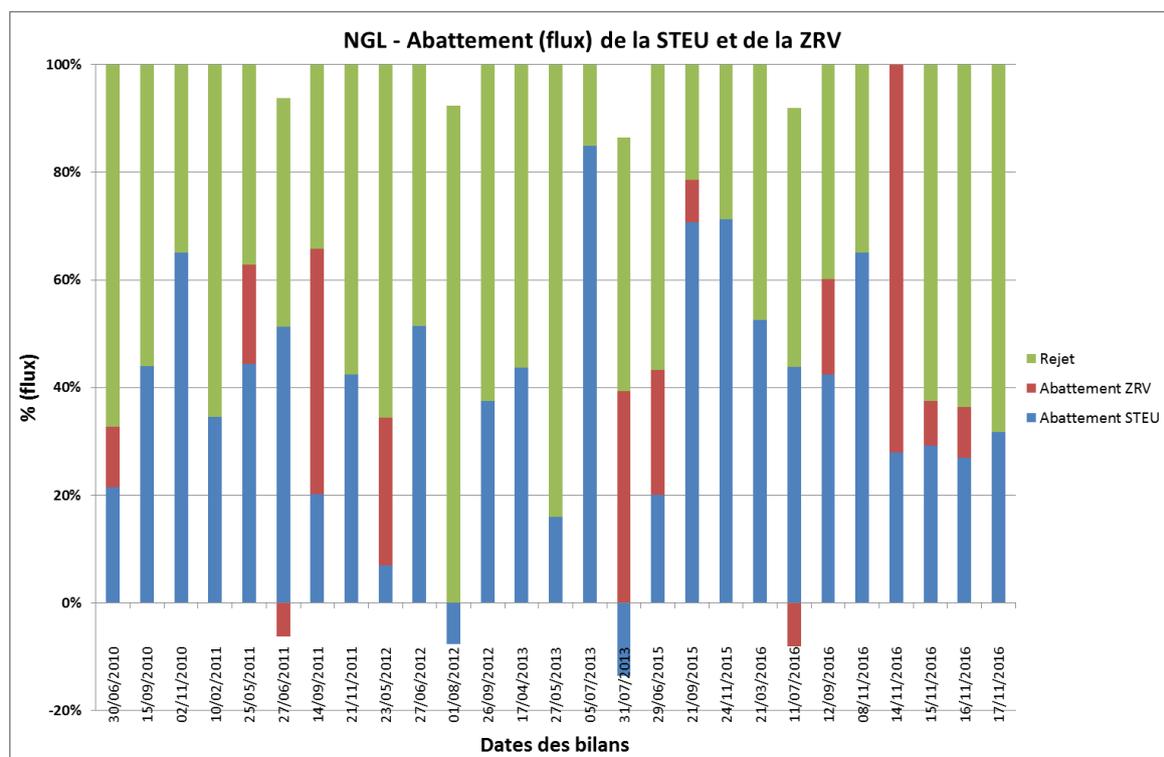


Figure 21 : Part d'abattement de la STEU et de la ZRV de la pollution en NGL reçue par la STEU - Lutter

Sur la Figure 21, on observe le 27/06/11 un relargage en NGL évalué à 7% du flux entrant à la STEU. Cette valeur négative s'explique par des concentrations élevées en NO_3^- en sortie de ZRV (15,4 mg/l en sortie contre 11,7 mg/l en entrée). On retrouve ce même phénomène lors du bilan du 11/07/2016 (41,6 mg/l en entrée contre 50 mg/l en sortie de ZRV).

Cette concentration en nitrates peut s'expliquer par un fort flux de pollution rejeté la veille, d'où un relargage des filtres lors du bilan (la ZRV aurait eu un effet tampon). Cela peut également avoir été causé par une pollution extérieure aux eaux usées urbaines comme par exemple l'apport d'engrais (présence de champs cultivés à proximité immédiate de la ZRV).

Globalement, l'effet de la ZRV sur l'azote global est positif mais les valeurs très variables. Sur une station de ce type permettant un niveau de traitement élevé du NH_4^+ , la ZRV n'apporte pas d'abattement supplémentaire voire une légère dégradation dans le temps mais les flux rejetés restent négligeables.

6.3.1.4 Focus sur le temps de pluie

Dans cette configuration, la ZRV de Lutter reçoit les eaux issues du trop-plein de la station ainsi que les eaux brutes traitées. Seul le bilan du 21/08/2010 a été réalisé en temps de

pluie. La figure 22 et la figure 23 représentent les volumes entrant et sortant de la ZRV sur un pas de temps horaire du bilan de fonctionnement.

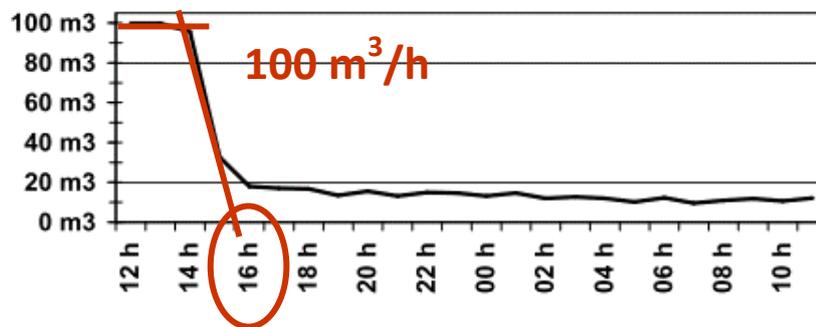


Figure 22 : Comptage des volumes d'eau en entrée de la ZRV le 21/08/13 – Lutter

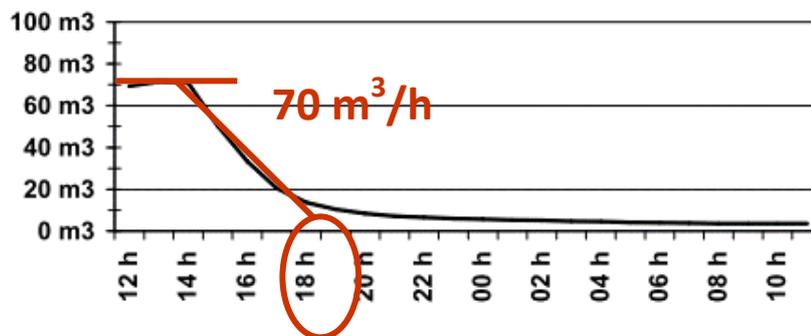


Figure 23 : Comptage des volumes d'eau en sortie de ZRV le 21/08/13 – Lutter

Les figures 22 et 23 mettent en évidence l'effet tampon de la ZRV sur le flux hydraulique en sortie de STEU. En effet, le volume maximum en entrée d'ouvrage est de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ contre $70 \text{ m}^3/\text{h}$ en sortie. De plus, la fin des pics de volumes en entrée et en sortie sont distants de plus de 2 heures.

La figure 24 met en évidence les rendements épuratoires calculés à partir des flux de pollution entrant et sortant de la ZRV. Les moyennes des rendements pour les paramètres DCO, NO_3^- et NGL sont respectivement : 58%, 63% et 50%. . Cependant, ces valeurs sont à relativiser car un seul bilan par temps de pluie a été réalisé sur Lutter.

Les paramètres DBO5, MES, NH_4^+ , NK et Pt n'ont pas de rendement épuratoire significatif pour cet épisode pluvieux.

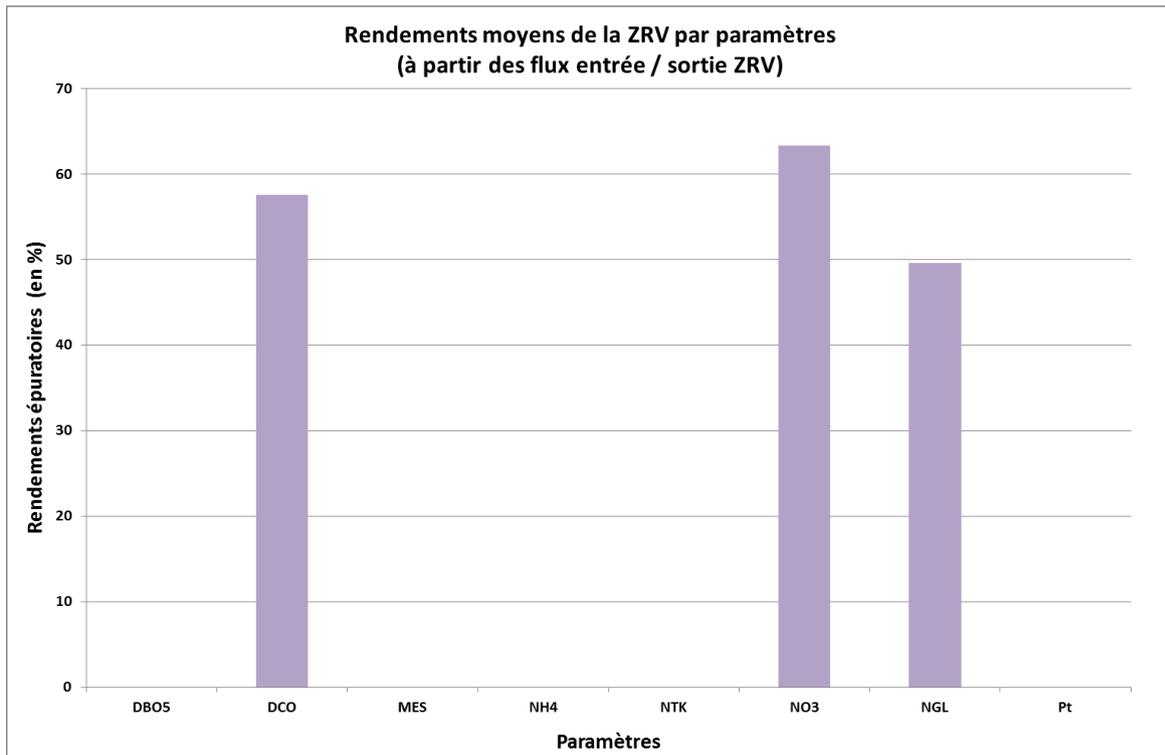


Figure 24 : Rendements épuratoires de la ZRV en temps de pluie - Lutter

D'après la figure 25, les FPREv semblent assurer un excellent traitement sur la pollution carbonée et en MES, et dans une moindre mesure sur l'azote réduit.

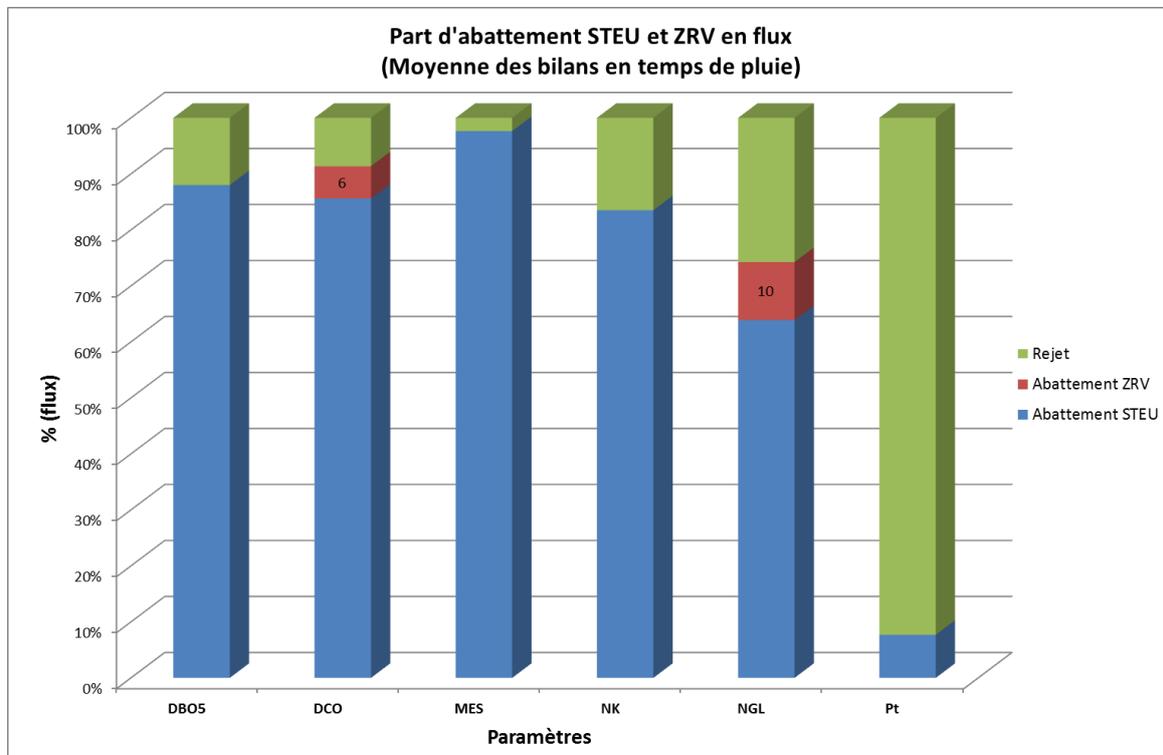


Figure 25 : Part d'abattement de la STEU et de la ZRV du flux de pollution arrivant en tête de filière de traitement – Lutter

6.3.1.5 Temps de séjour et distribution hydraulique

L'étude de la Distribution des Temps de Séjour (DTS) a permis de caractériser l'écoulement des eaux dans l'ouvrage, telles que les zones mortes et les recirculations. Elle permet également d'évaluer les paramètres caractéristiques du temps de séjour des polluants.

Les photographies suivantes illustrent la répartition des traceurs fluorescents dans les premières dizaines de minutes suivant l'injection :



Figure 26 : Dissipation des traceurs fluorescents dans la ZRV de Lutter une dizaine de minutes après l'injection

La configuration de la ZRV de Lutter (surface importante, long temps de séjour) en fait un ouvrage sujet aux variations thermiques liées à l'ensoleillement. Ainsi, des variations journalières corrélées aux heures les plus chaudes de la journée ont été constatées avec une amplitude allant de 17,9 à 26,4 °C :

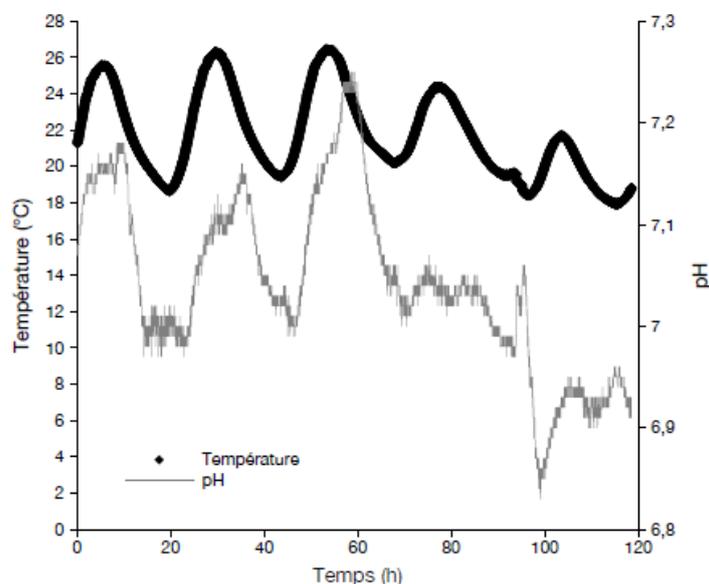


Figure 26 : Evolution de la température et du pH en sortie - ZRV de Lutter

Sur la première période de 24h de mesures, les débits moyens mesurés en amont et en aval de la ZRV étaient respectivement de 4,1 m³/h et de 3,9 m³/h. Le débit moyen durant les expériences (avant l'évènement pluvieux) est de 3,8 m³/h. Au regard des débits minimaux et maximaux, on voit que la noue absorbe la charge hydraulique et linéarise le débit. Sur ces mêmes 24h, on retrouve 5,2 m³ de moins en sortie, soit une perte d'environ 5% du débit entrant sur la ZRV. Cela confirme les résultats des campagnes menées pour l'évaluation des

rendements épuratoires (voir partie voir partie 6.3.1.2 Complément d'épuration apporté par la ZRV, page 43).

Il est à noter qu'en fin d'expérience (une centaine d'heures après l'injection des traceurs fluorescents), un événement pluvieux d'intensité importante a induit des débits très importants à l'amont et en aval de la ZRV (débit maximum horaire de 55m³/h). Cependant, cet événement, qui aurait pu fortement perturber les expériences, est intervenu alors que le taux de récupération pour la SRB était de 83,7%, ce qui est tout à fait satisfaisant pour l'interprétation.

Celle-ci a donc été réalisée sur la portion de courbe située avant cette pluie. La figure 28 présente la chronique des débits en sortie de la ZRV durant l'expérience de traçage. Les couleurs indiquent les durées respectives des 3 expériences : Rose pour le SRB + UR et les hachures pour le sel.

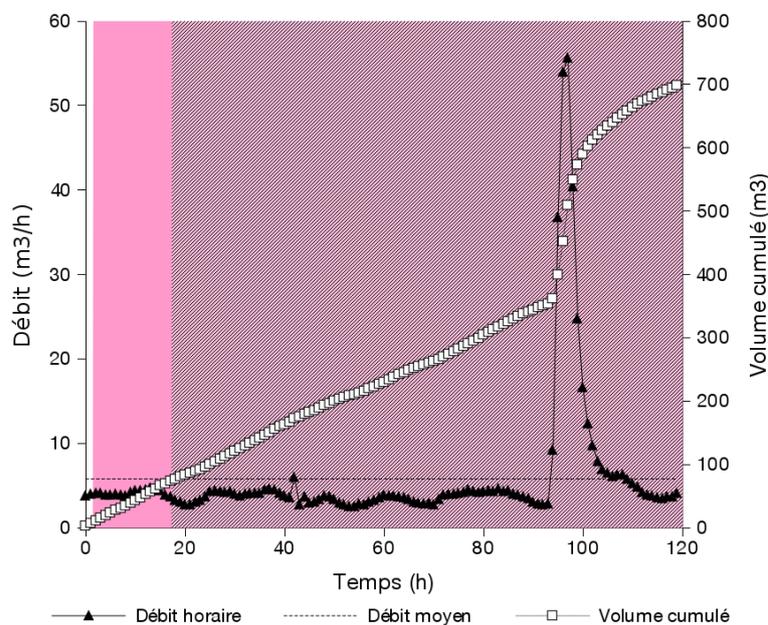


Figure 27 : Chronique des débits durant les expériences - ZRV de Lutter

Les DTS calculées pour les deux traceurs fluorescents sont présentées sur la figure 29. Les valeurs ont été adimensionnalisées afin de comparer les signaux entre eux.

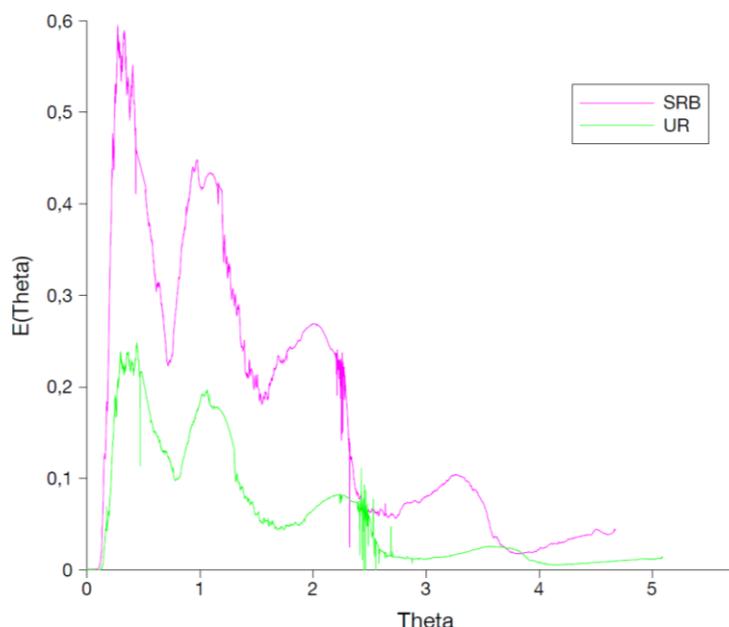


Figure 28 : Distribution des Temps de Séjour - Traceurs fluorescents - ZRV de Lutter

L'étude de la figure 29 est caractérisée par des pics successifs décroissants avec une périodicité régulière d'environ 20h. Cette allure est caractéristique de lentes recirculations internes. Plusieurs hypothèses peuvent être formulées pour expliquer cette observation :

- la topographie de la mare induit une recirculation sur un plan horizontal ;
- un effet de stratification thermique variable selon les cycles jour/nuit induit un mélange irrégulier sur la verticale de la colonne d'eau ;
- Le taux de récupération de la SRB en fin d'expérience est de 87,1% (83,7% jusque l'événement pluvieux). Cela suggère l'absence de phénomène de sorption significatif.

Le traçage au NaCl n'a pu être interprété pour cette ZRV. En effet, la quantité de sel injectée (25 kg) n'a pas été suffisante pour induire des variations significatives de conductivité en sortie, au regard des variations du bruit de fond (également potentiellement impactées par les traceurs fluorescents).

A partir des courbes de traçage et des DTS, les paramètres présentés dans le tableau ont pu être calculés :

	Sulforhodamine B	Uranine
Récupération durant expérience (%)	83,7	31,1
Temps de 1ère apparition du traceur (s)	8160	8160
Indice de court-circuit (%)	2,0	2,0
Temps de passage (h)	113	113
Temps de séjour moyen (h)	19,8	18,2
Temps de séjour au bout duquel 50 % du traceur est sorti (h)	29,8	/
Fraction de traceur récupérée au temps de séjour moyen (%)	33,3	13,7
Volume accessible au fluide (m ³)	74,4	68,3
Volume mort (m ³)	350,6	356,8
Variance (s ²)	3,3.10 ⁹	3,0.10 ⁹
Nombre de Péclet	1,4	1,17

Tableau 22 : Paramètres déterminés à partir des courbes de traçage - ZRV de Lutter

Le temps de séjour moyen (18,2h – 19,8h) dans la ZRV est beaucoup plus court que le temps de passage théorique (40h) : le volume réel de l'ouvrage est très probablement en deçà du volume existant lors de la conception (envasement, comblement par les végétaux, etc.).

Le taux de récupération de l'UR est ici très faible (32,9%). En effet, l'UR est un composé photosensible. L'injection a ici été réalisée de jour et l'expérience a duré 5 jours avec un ensoleillement important. Il est donc très probable que l'UR ait subi un phénomène de photodégradation durant son transit dans la ZRV.

Si ce résultat rend difficile l'interprétation de cette courbe de traçage du point de vue de l'hydrodynamique, il est tout à fait intéressant du point de vue de la quantification du potentiel de dégradation de composés photosensibles au sein de l'ouvrage [13].

Le nombre de Péclet¹³ calculé pour les deux traceurs indique une dispersion forte, avec des transferts majoritairement diffusifs compatibles avec les faibles vitesses observées dans l'ouvrage (observations visuelles).

6.3.2 Commune de Liebsdorf

6.3.2.1 Concentration en entrée et sortie de ZRV

Les concentrations ci-dessous ne concernent que des bilans temps sec (et débit d'entrée à la STEU inférieur au débit de référence). Le débit de référence de la STEU de Liebsdorf est de 201 m³/j. Un focus sur le temps de pluie est présenté dans la partie : 6.3.2.4 Focus sur le temps de pluie.

Concentration eau (entrée de ZRV)	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	MES (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NK (mg/l)	NGL (mg/l)	Pt (mg/l)
Moyenne	5,3	32,8	6,5	3,0	5,6	23,2	2,1
Minimum	1,0	5,0	2,0	0,5	1,0	8,1	0,4
Maximum	19,0	84,0	27,0	9,0	16,1	51,4	5,2
Ecart type	4,0	20,8	5,7	2,4	3,6	10,5	1,1
Nombre de bilans	18	21	21	21	18	19	21
IC 95 %	[2,7 - 11,4]	[9 - 60]	[2 - 17]	[0,6 - 8,3]	[1 - 9,6]	[9,4 - 43,1]	[0,5 - 3,6]

Tableau 23 : Concentrations moyennes de l'eau en entrée de ZRV – Liebsdorf

Les concentrations en pollution carbonée (DBO5 et DCO) en entrée de ZRV mettent en évidence la bonne rétention et/ou dégradation de ce type de pollution par les FPRev, d'où des concentrations en entrée de ZRV relativement faibles. Les concentrations en MES, azote réduit et phosphore le sont également.

¹³ Le nombre de Peclet correspond au rapport entre le transfert de matière par advection (transport avec le mouvement global du fluide) et le transfert par dispersion. Plus ce nombre est petit, plus l'on tend vers un comportement de réacteur « piston ».

Concentration eau (sortie de ZRV)	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	MES (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NK (mg/l)	NGL (mg/l)	Pt (mg/l)
Moyenne	3,4	22,4	4,3	2,5	4,5	18,5	1,9
Minimum	1,0	7,0	2,0	0,5	1,0	4,2	0,4
Maximum	5,0	42,0	10,0	7,6	12,0	37,9	3,5
Ecart type	1,2	11,9	2,2	1,9	2,8	8,0	0,7
Nombre de bilans	18	21	21	20	17	19	21
IC 95 %	[1 - 5]	[8 - 41]	[2 - 8]	[0,7 - 6,4]	[1 - 9,8]	[7,7 - 31,5]	[1,2 - 3,3]

Tableau 24 : Concentrations moyennes de l'eau en sorti de ZRV – Liebsdorf

La ZRV permet une réduction des moyennes des concentrations de sortie pour tous les polluants observés ainsi que sur la fourchette des valeurs basse-haute, hormis pour le phosphore (indice de confiance à 95%). Pour relativiser ces résultats, il est intéressant de calculer la part de la pollution entrante dans la STEU retenue et/ou dégradée par la STEU et la ZRV.

6.3.2.2 Complément d'épuration apporté par la ZRV

Les graphiques ci-après présentent la part de pollution (% de flux entrant à la station) éliminée par chaque étape de traitement : STEU et ZRV. Cette dernière ne prend en compte que les flux écoulés à travers les canaux venturis en entrée et en sortie de station et de ZRV. La part de pollution qui rejoint le sous-sol par infiltration, ou sort par exfiltration, n'est donc pas quantifiée.

Cette analyse permet d'évaluer l'effet relatif de la ZRV dans la chaîne de traitement avant rejet.

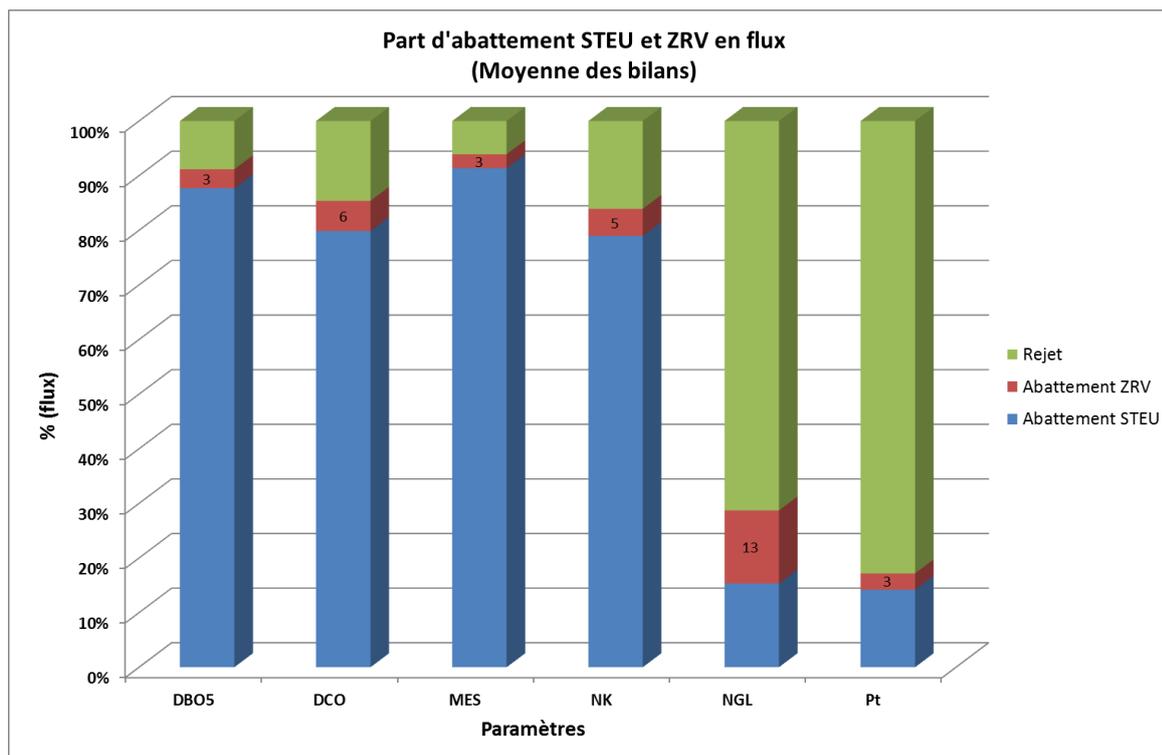


Figure 29 : Part d'abattement de la STEU et de la ZRV de la pollution reçue par la station de Liebsdorf

A la lecture de la figure 30, trois tendances apparaissent au niveau de l'abattement moyen de la ZRV:

- Réduction limitée des flux rejetés en DBO5, MES et Pt, (3% du flux reçu par la station) ;
- Réduction significative des flux rejetés en DCO et NK (respectivement 6% et 5% du flux reçu par la station) ;
- Réduction importante du flux rejeté en NGL (13% du flux entrant à la station).

Les noues de la ZRV abattent une part importante des flux de DCO et de NGL entrants à la station (respectivement 6% et 13%), mais il faut relativiser ce constat qui présente une moyenne de bilans très variables (voir paragraphe suivant)

6.3.2.3 Focus sur les abattements de pollution par la ZRV supérieurs à 5 %

- **La DCO**

En entrée de station, la concentration moyenne de l'effluent est de 183,3 mg/l de DCO contre 32,8 mg/l de DCO en sortie du deuxième étage de traitement et 22,4 mg de DCO en sortie de ZRV.

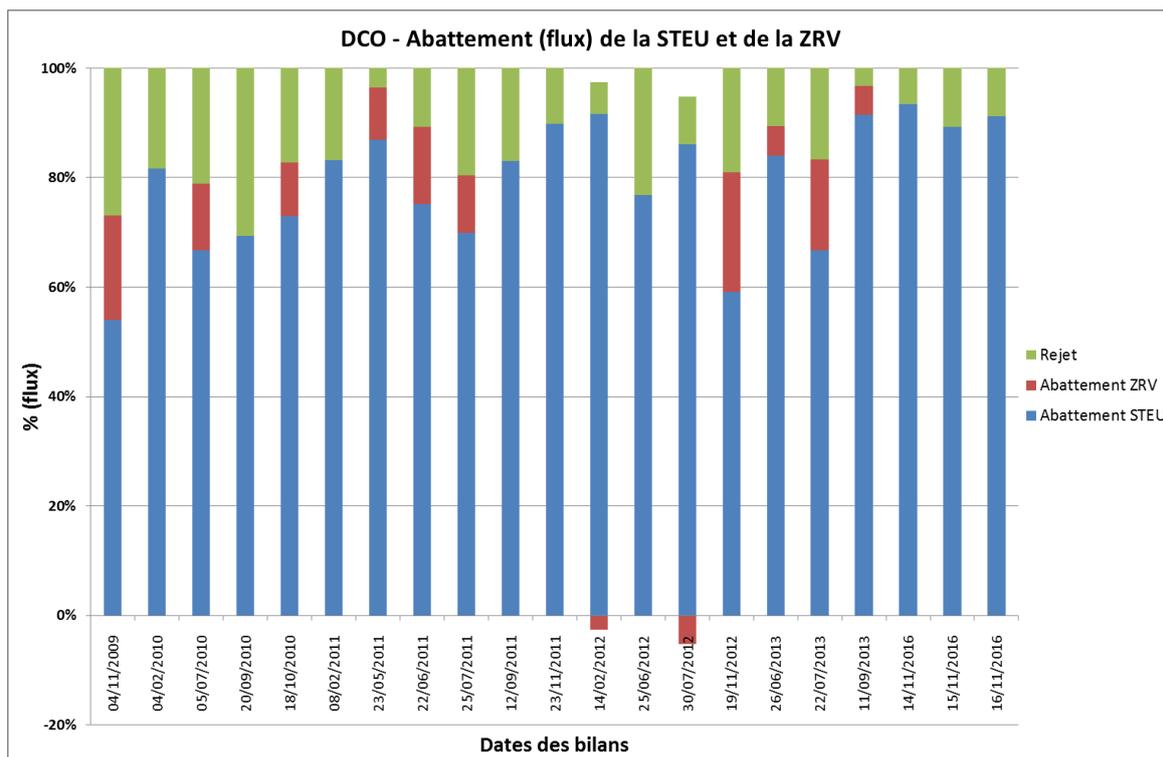


Figure 30 : Part d'abattement de la STEU et de la ZRV de la pollution en DCO reçue par la station – Liebsdorf

La figure 31 illustre la part d'abattement du flux de DCO entrant en fonction du point de prélèvement) et de la date du bilan. On peut remarquer que la contribution de la ZRV n'est pas constante dans le temps (valeurs extrêmes : 0% à 22% d'abattement du flux entrant STEU).

Le 14/02/12 les eaux en sortie de ZRV étaient plus chargées en DCO qu'en entrée. Ce jour-là, le bilan a été réalisé par temps neigeux et avec un taux de dilution de 475%. La concentration en sortie du FPRev était de 5 mg/l de DCO contre en moyenne et habituellement 32,81 mg/l de DCO. La concentration en sortie de ZRV était de 9 mg/l de DCO. De plus, lors de ce bilan il y eu 12 m³ de plus en sortie qu'en entrée de ZRV, mais les eaux souterraines sont peu concentrées en DCO. Le fait que l'effluent se concentre lors de son passage dans la ZRV pourrait s'expliquer par une remise en suspension de la DCO particulaire précédemment décantée (eaux brutes passées par le trop-plein en entrée station).

Le bilan du 30/07/12 met en évidence des concentrations en entrée et en sortie de ZRV très proches (respectivement de 16 et 17 mg/l de DCO).

Globalement, l'effet de la ZRV sur la DCO est positif mais les valeurs sont variables.

- L'azote global

La quantité d'azote global (NGL) élevée en sortie de FPR est liée aux rejets de nitrates (en moyenne 3,0 mg/l de NH_4^+ , 5,6 mg/l de NK, 15 mg/l de NO_2^- et 16,90 mg/l de NO_3^-). En l'absence d'une bonne dénitrification la ZRV permet d'améliorer ce point du traitement et de diminuer l'impact sur le milieu naturel.

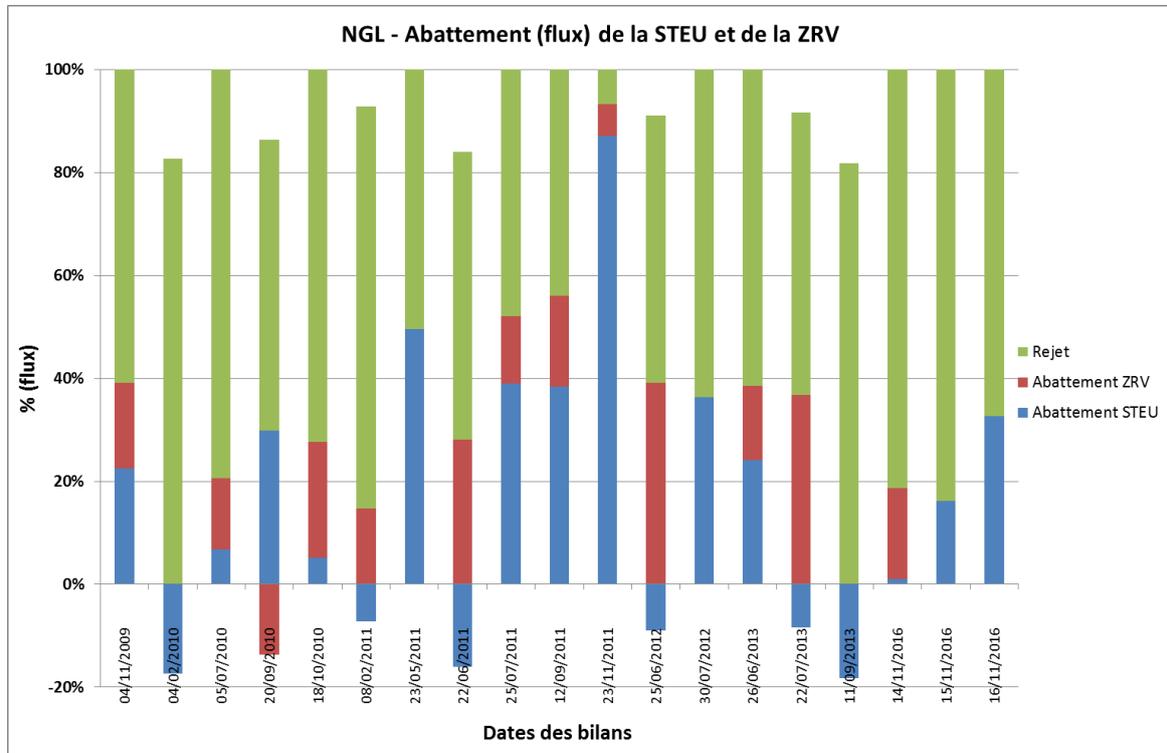


Figure 31 : Part d'abattement de la STEU et de la ZRV de la pollution en NGL reçue par la station – Liebsdorf

Globalement, l'effet de la ZRV sur le NGL est positif avec des valeurs variables (nulles à fortes) notamment sur la période sensible.

6.3.2.4 Focus sur le temps de pluie

Dans cette configuration, la ZRV de Liebsdorf reçoit les eaux brutes ainsi que les eaux pluviales transitant par la station (avec $Q > Q_{ref}$). Sept bilans ont été réalisés en temps de pluie. La figure 33 ainsi que la figure 34 mettent en relation les volumes d'eau passés dans les canaux venturés en entrée et en sortie de ZRV le 23/06/11.

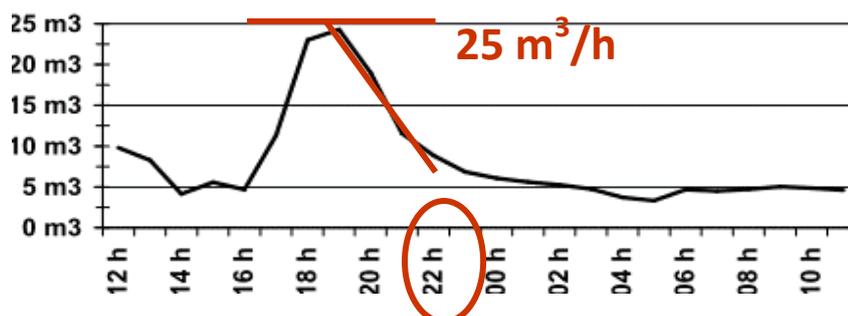


Figure 32 : Comptage des volumes d'eau en entrée de la ZRV de Liebsdorf le 23/06/11

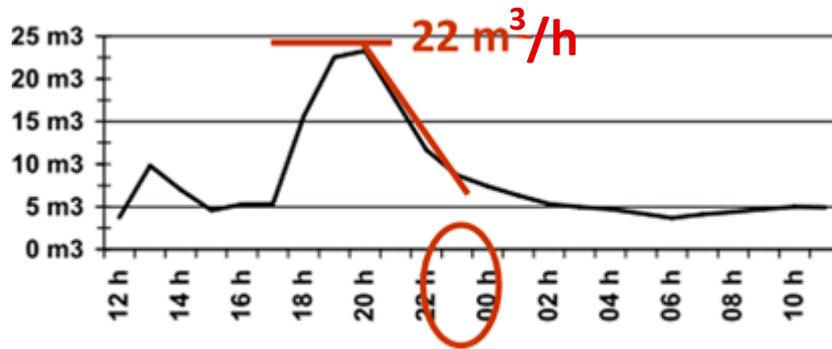


Figure 33 : Comptage des volumes d'eau en sortie de la ZRV de Liebsdorf le 23/06/11

La comparaison de ces deux graphiques permet d'observer l'effet tampon de la ZRV sur le milieu récepteur vis-à-vis des écoulements d'eau. En effet, le maximum d'eau enregistré entrant dans la ZRV est de 25 m³/h alors qu'en sortie il n'est plus que de 22 m³/h. De plus, le pic du volume d'eau est différé d'une trentaine de minutes entre son entrée et sa sortie de la ZRV.

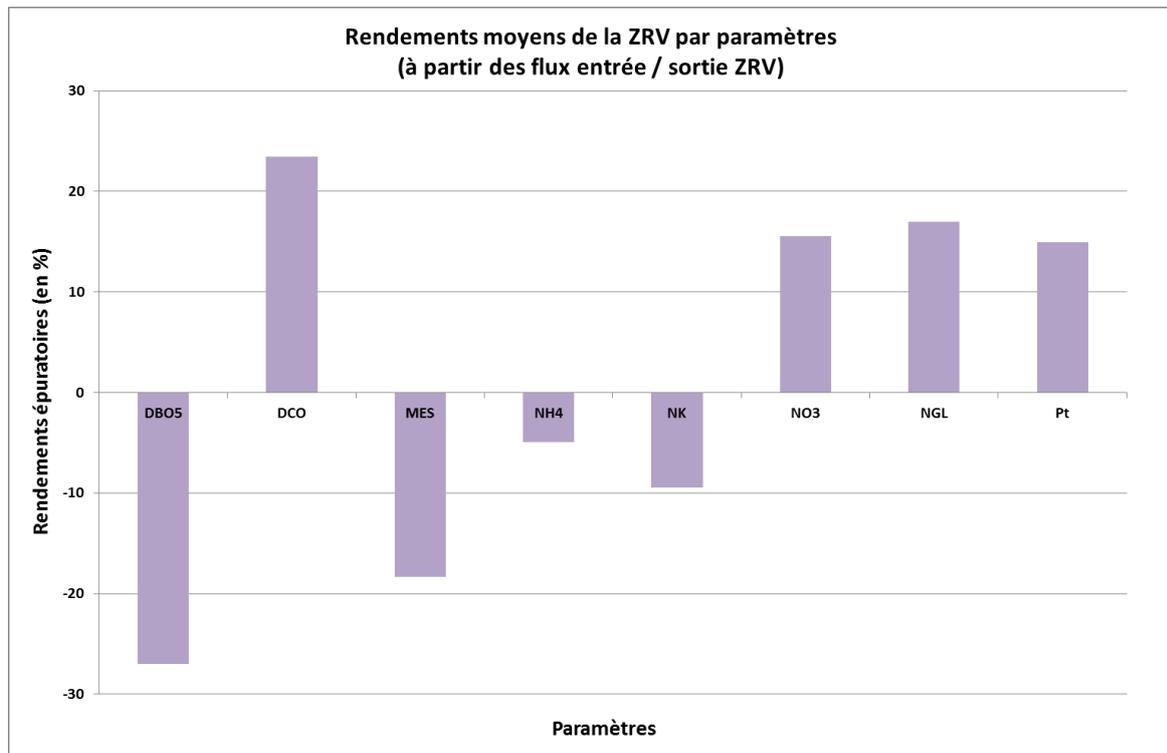


Figure 34 : Rendements épuratoires de la ZRV en temps de pluie – Liebsdorf

La lecture de la figure 35 met en évidence la réduction de la pollution carbonée par la ZRV, à hauteur de 23% pour la DCO. La pollution azotée quant à elle a un rendement de 16% pour le NO₃ et un rendement de 17% pour le NGL. Enfin, la ZRV permet la réduction de 15% de la pollution phosphorée.

Sur sept bilans réalisés par temps de pluie, cinq ont des rendements épuratoires nuls pour la DBO5. A titre d'exemple, le bilan du 24/09/12 affiche un rendement de -162%. Ce

rendement négatif peut s'expliquer par la dégradation ou remise en suspension de pollution présente dans la ZRV.

Ce constat est à relativiser au vu des faibles concentrations observées.

Ainsi, les concentrations en MES le 20/11/13 sont de 3 mg/l en entrée et de 7 mg/l en sortie de ZRV. Les concentrations en NH_4^+ sont de 0,4 mg/l en entrée et de 0,9 mg/l en sortie de ZRV, d'où un rendement de -171%. Cependant, les concentrations en polluants sont négligeables.

Le 21/05/12, le rendement épuratoire du paramètre NK était de -70% avec des concentrations en entrée et en sortie de respectivement 4,3 mg/l et 7,1 mg/l. La différence de volumes sortant et entrant observée s'explique par les arrivées d'eau faisant suite à une pluie importante et passant directement dans la ZRV depuis le by-pass et non par les FPRev, d'où des concentrations en polluants plus élevées ce jour-là.

D'après la figure 36, la ZRV a permis un traitement des eaux by-passées sur les paramètres DCO, NGL et Pt avant que ces dernières ne rejoignent le milieu naturel.

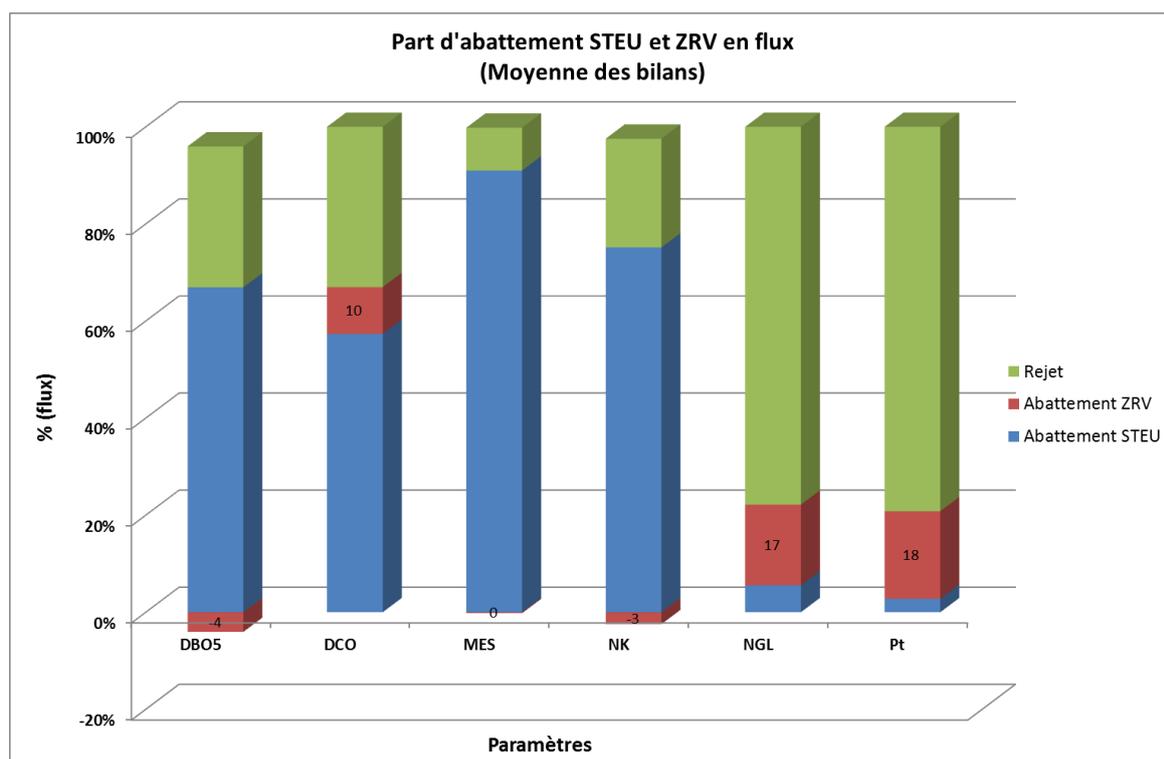


Figure 35 : Part d'abattement de la STEU et de la ZRV du flux de pollution arrivant en tête de filière de traitement par temps de pluie – Liebsdorf

6.3.2.5 Temps de séjour et distribution hydraulique

Le débit moyen mesuré en amont de la ZRV est de 3 m³/h tandis qu'il est de 3,4 m³/h en aval. Il y a donc une augmentation du débit en sortie de la ZRV. Ce phénomène est observé

de façon récurrente sur cette ZRV par le SATESE 68. Au vu de la topographie du site, une exfiltration d'eau est supposée. Les débits moyens durant les expériences sont respectivement de 3,6 m³/h, 3,3 m³/h et 3,2 m³/h pour les expériences à la SRB, à l'UR et au sel.

La figure 37 présente la chronique des débits en sortie de la ZRV durant l'expérience de traçage. Les couleurs indiquent les durées respectives des 3 expériences : rose pour le SRB et l'UR ainsi que les hachures pour le sel.

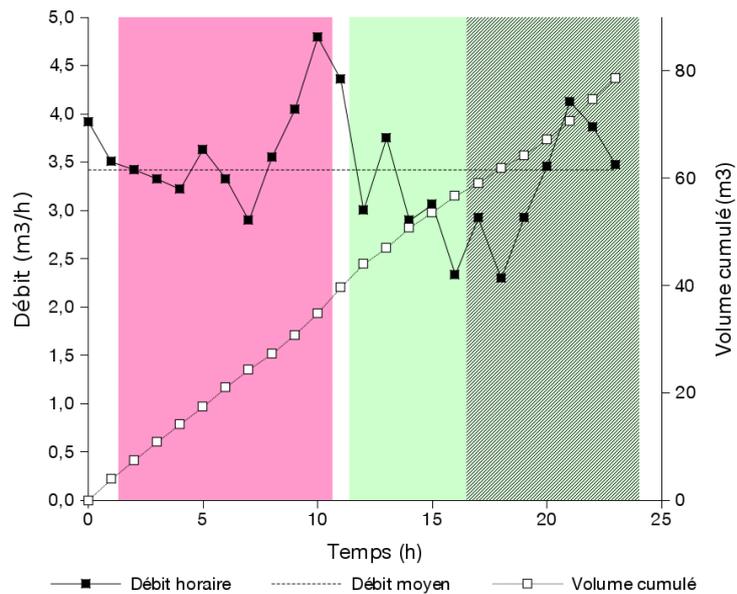


Figure 36 : Chronique des débits durant les expériences - ZRV de Liebsdorf

La courbe de traçage présentée sur la figure 38 présente plusieurs caractéristiques :

- le temps au bout duquel le traceur est détecté pour la première fois en sortie est de 41 min ;
- elle présente un seul pic relativement étroit caractéristique d'un écoulement assimilable à un réacteur piston avec dispersion axiale ;

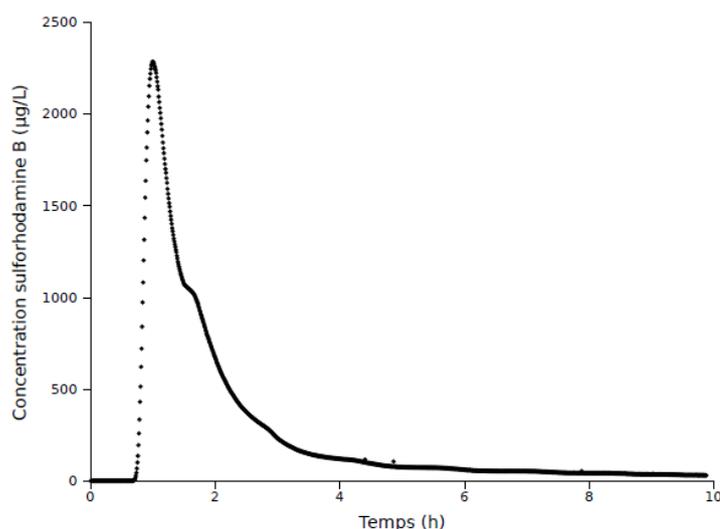


Figure 37 : Courbe de traçage à la SRB - ZRV de Liebsdorf

- Peu avant un temps de 2h suivant l'injection, on observe sur le pic un épaulement. Cet épaulement correspond à un deuxième pic confondu avec le premier. On a donc deux flux en parallèle résultant du partage inégal du débit à l'entrée des deux noues. Les constatations visuelles au niveau du regard aval des deux noues ont en effet montré que le traceur sortait de la noue la plus éloignée de la sortie après la noue la plus en aval.
- Une trainée relativement importante est observée. Cette trainée est significative d'échanges lents (à caractère plutôt diffusif) entre différentes zones des noues étudiées. Parmi les causes potentielles, on peut citer : présence de zones stagnantes (par exemple à proximité des berges), impact de la végétation, etc.

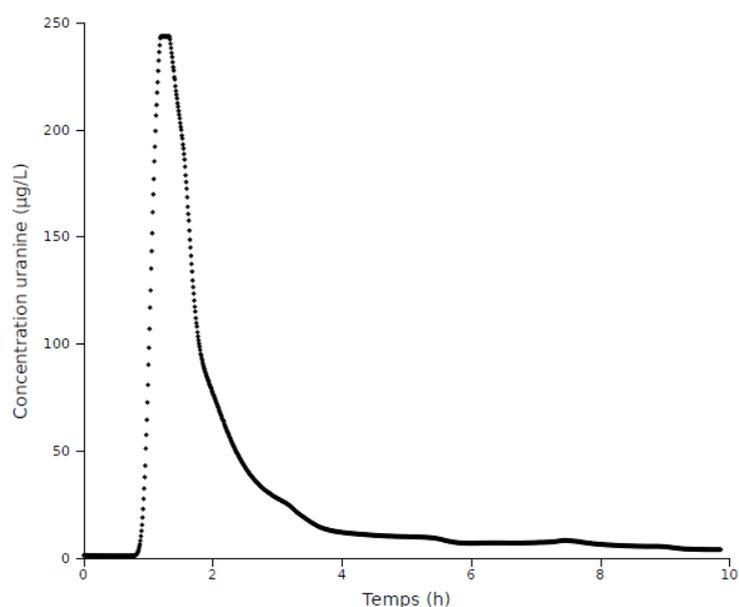


Figure 38 : Courbe de traçage à l'UR - ZRV de Liebsdorf

La courbe de traçage de l'UR présentée sur la figure 39 présente plusieurs caractéristiques :

- Le temps au bout duquel le traceur est détecté pour la première fois en sortie est de 50 min ;
- Elle présente un seul pic relativement étroit caractéristique d'un écoulement assimilable à un réacteur piston avec dispersion axiale ;
- On observe de manière beaucoup plus limitée que pour la SRB l'épaulement sur la courbe correspondant à l'arrivée du pic lié à la noue la moins alimentée. Le débit d'alimentation des deux noues lors de l'expérience avec l'UR étant plus faible que lors de l'expérience à la SRB, on peut supposer que la répartition du débit d'entrée entre les deux noues est variable dans une certaine mesure avec le débit d'entrée ;
- Le haut du pic est légèrement "coupé" à son extrémité supérieure, cela est dû à une saturation temporaire de la gamme de mesure du fluorimètre ;
- Une trainée relativement importante est observée. Cette trainée est significative d'échanges lents (à caractère plutôt diffusif) entre différentes zones des noues étudiées. Parmi les causes potentielles, on peut citer : présence de zones stagnantes (par exemple à proximité des berges), impact de la végétation, etc.

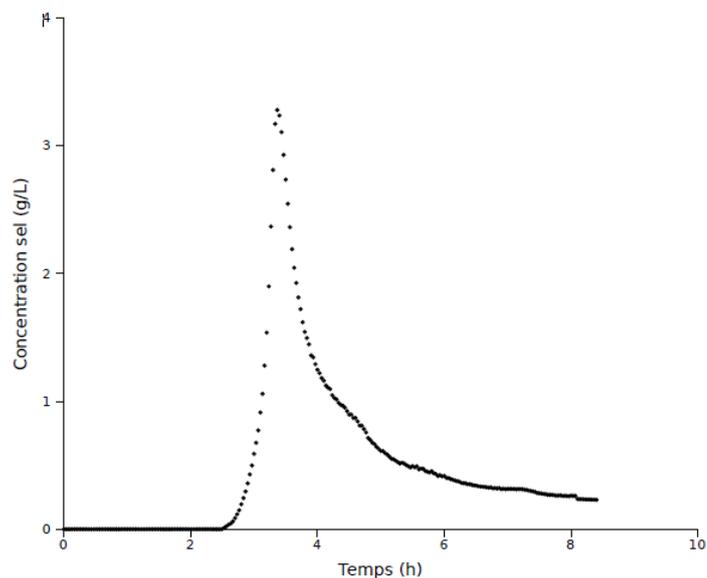


Figure 39 : Courbe de traçage au sel - ZRV de Liebsdorf

Comme pour les deux traceurs fluorescents, on observe un pic relativement étroit comportant un léger épaulement suivi d'une trainée (figure 40). Cependant, on observe plusieurs différences majeures : le temps d'apparition du premier traceur est beaucoup plus

élevé (5400 secondes au lieu de 2500 à 3000 secondes). Le débit plus faible lors de l'expérience au sel ne suffit pas à expliquer cette observation.

De plus, la trainée est bien plus longue que pour les deux autres expériences et conduit à un temps de séjour moyen de 7h. L'expérience a dû être interrompue alors que la trainée était encore en cours, expliquant le faible taux de récupération observé. L'extrapolation de la courbe n'est pas satisfaisante. On peut expliquer ces problèmes par des effets bien connus du sel lors des expériences de traçages : problèmes de dissolution (tout le sel n'ayant pas été dissous de manière satisfaisante dans les 50L de solution) et surtout des problèmes de densité de l'eau salée : celle-ci étant plus dense que l'eau alimentant la noue, les propriétés de l'écoulement s'en trouvent modifiées avec très probablement une stagnation dans les zones profondes ou à faible vitesse.

Les DTS calculées pour les deux traceurs fluorescents sont présentées sur la figure 41. Les valeurs ont été adimensionnalisées afin de comparer les signaux entre eux.

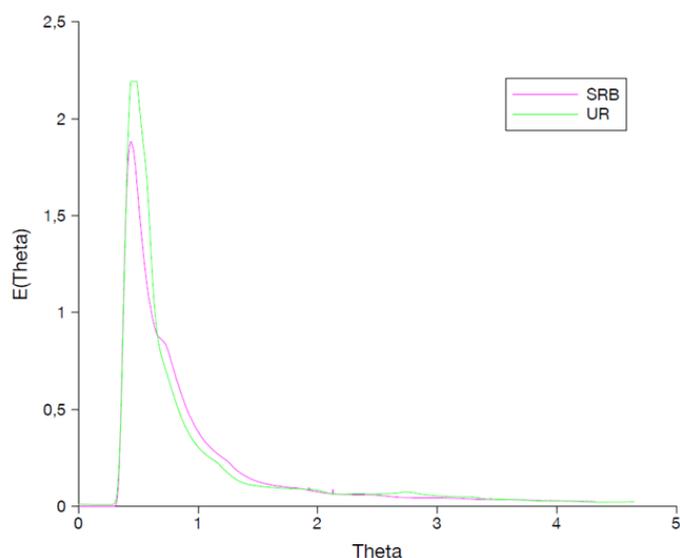


Figure 40 : Distribution des Temps de Séjour - Traceurs fluorescents - ZRV de Liebsdorf

A partir des courbes de traçage et des DTS, les paramètres présentés dans le tableau 24 ont pu être calculés.

	Sulforhodamine B	Uranine
Récupération durant expérience (%)	86,1	92,6
Temps de 1ère apparition du traceur (s)	2490	3000
Indice de court-circuit (%)	5,0	5,5
Temps de passage (h)	13,9	15,3
Temps de séjour moyen (h)	2,3	2,7
Temps de séjour au bout duquel 50 % du traceur est sorti (h)	1,7	1,8
Fraction de traceur récupérée au temps de séjour moyen (%)	63,7	69,8
Volume accessible au fluide (m ³)	8,2	8,9
Volume mort (m ³)	41,8	41,0
Variance (s ²)	4,4.10 ⁷	7,4.10 ⁷
Nombre de Péclet	1,5	0,9

Tableau 25 : Paramètres déterminés à partir des courbes de traçage - ZRV de Liebsdorf

On constate un temps de séjour moyen très inférieur au temps de passage calculé à partir du volume estimé de la ZRV (50 m³). Le volume accessible au fluide est par conséquent très inférieur à ce volume supposant un volume mort très important (plus de 80%) : le volume géométrique réel de la ZRV est très probablement très inférieur aux 50 m³ prévus lors de la conception. Plusieurs raisons peuvent être avancées : comblement de la ZRV, encombrement de la végétation, etc.

Le nombre de Péclet très faible suppose des transferts diffusifs dominants, en cohérence avec la longue trainée observée sur les courbes de traçages. Le pic très net observé sur les courbes suppose un écoulement préférentiel de type piston avec dispersion. Les taux de récupération très importants pour les deux traceurs suggèrent l'absence de phénomènes de sorption et de photodégradation significatifs (à noter que l'injection d'urarine a été réalisée de nuit).

Pour chaque noue, on peut donc proposer le modèle d'écoulement suivant : un écoulement de type piston avec dispersion (représentant l'écoulement préférentiel probablement au centre de la noue) échangeant avec des zones stagnantes situées sur les côtés.

6.3.3 SIVOM de Wahlbach – Zaessingue

La ZRV de Wahlbach-Zaessingue a connu en 2012 une inondation ayant modifié le fond initial de la ZRV. Aucune autre mesure ne fut réalisée après cette date, ce qui induit un nombre de bilans moins important que les deux autres ZRV.

6.3.3.1 Concentration en entrée et sortie de ZRV

Les concentrations ci-dessous ne concernent que des bilans de temps sec (et avec débit d'entrée à la STEU des effluents inférieurs au débit de référence). Le débit de référence de la STEU de Wahlbach Zaessingue est de 288 m³/j. Un focus sur le temps de pluie est présenté dans la partie : 6.3.3.4 Focus sur le temps de pluie.

Concentration eau (entrée de ZRV)	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	MES (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NK (mg/l)	NGL (mg/l)	Pt (mg/l)
Moyenne	3,8	34,4	7,1	2,4	4,8	24,3	2,4
Minimum	2,0	10,0	5,0	1,2	4,0	14,2	0,5
Maximum	5,0	53,0	11,0	3,5	5,6	40,9	3,2
Ecart type	1,1	13,7	2,0	0,8	0,6	8,7	0,9
Nombre de bilans	5	7	7	7	7	7	7
IC 95 %	[2,4 - 4]	[16 - 46,4]	[5,3 - 15,9]	[1,4 - 3,7]	[4,1 - 5,9]	[15,2 - 30,2]	[1 - 2,9]

Tableau 26 : Concentrations moyennes de l'eau en entrée de ZRV – Wahlbach

Les concentrations en pollution carbonée (DBO5 et DCO) en entrée de ZRV mettent en évidence que les FPRev retiennent et/ou dégradent très bien ce type de pollution d'où des

concentrations en entrée de ZRV relativement faibles. Les concentrations en MES, azote réduit et phosphore le sont également.

Concentration eau (sortie de ZRV)	DBO5 (mg/l)	DCO (mg/l)	MES (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NK (mg/l)	NGL (mg/l)	Pt (mg/l)
Moyenne	3,4	22,3	8,0	2,5	4,5	20,2	2,2
Minimum	2,0	8,0	4,0	1,2	2,7	12,9	0,6
Maximum	4,0	56,0	18,0	4,0	6,1	32,9	3,0
Ecart type	0,9	16,2	5,1	0,9	1,2	7,0	0,8
Nombre de bilans	5	7	7	7	7	7	7
IC 95 %	[2,2 - 4]	[8,9 - 46,4]	[4 - 15,9]	[1,4 - 3,7]	[2,9 - 5,9]	[13,3 - 30,2]	[1 - 2,9]

Tableau 27 : Concentrations moyennes de l'eau en sorti de ZRV – Wahlbach

La ZRV ne permet pas ici une réduction de la valeur moyenne des concentrations pour la majorité des polluants observés. Pour relativiser ces résultats, il est intéressant de calculer la part de la pollution entrante dans la STEU retenue et/ou dégradée par la STEU et la ZRV.

6.3.3.2 Complément d'épuration apporté par la ZRV

Les graphiques ci-après présentent la part de pollution (% de flux entrant à la station) éliminée par chaque étape de traitement : STEU et ZRV. Cette dernière ne prend en compte que les flux écoulés à travers les canaux venturis en entrée et en sortie de station et de ZRV. La part de pollution qui rejoint le sous-sol par infiltration, ou sort par exfiltration, n'est donc pas quantifiée.

Cette analyse permet d'évaluer l'effet direct de la ZRV sur le milieu superficiel récepteur au niveau du rejet.

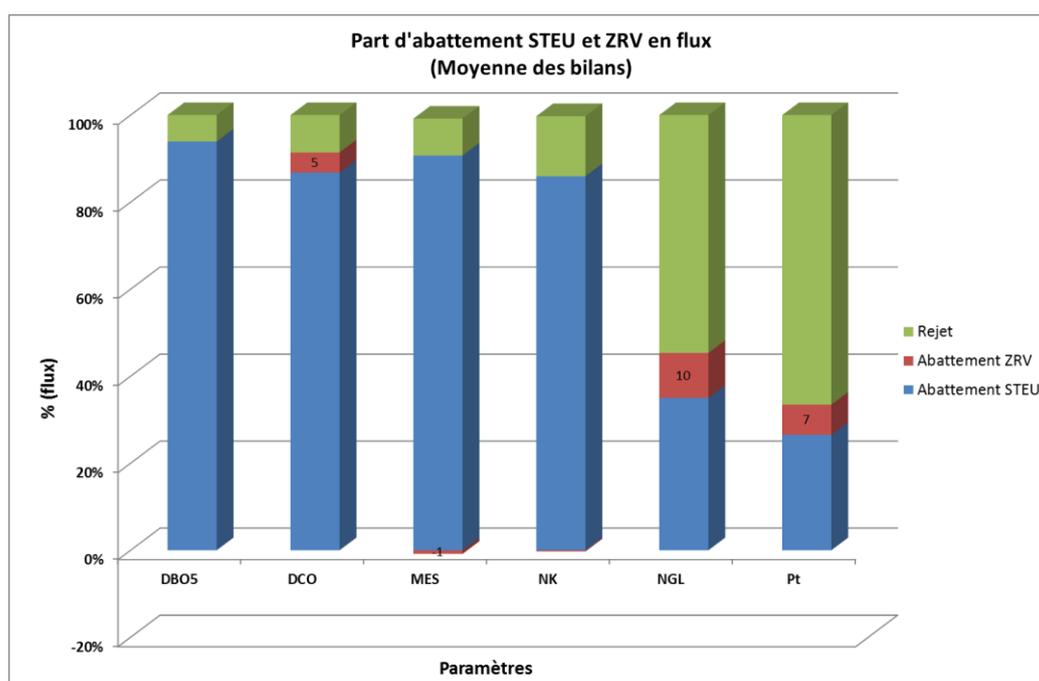


Figure 41 : Part d'abattement de la STEU et de la ZRV de la pollution reçue par la station – Wahlbach

A la lecture du graphique, les tendances suivantes apparaissent :

- La ZRV n'a pas d'impact sur les rejets de DBO5, MES et NK ;
- L'effet sur la DCO et le Pt est significatif (respectivement 5% et 7% du flux à traiter par la station) ;
- L'effet sur le NGL est important (10% du flux à traiter par la station).

6.3.3.3 Focus sur les abattements de pollution par la ZRV supérieurs à 5%

La STEU de Wahlbach – Zaessingue est le site le plus récent des trois mais nous ne disposons pas de suffisamment de données pour mettre en évidence des performances épuratoires. Néanmoins quelques tendances peuvent être observées.

- **La DCO**

En moyenne la ZRV participe à hauteur de 5% à l'abattement de la DCO qui rentre dans la station, malgré un très bon abattement de la DCO par le FPR.

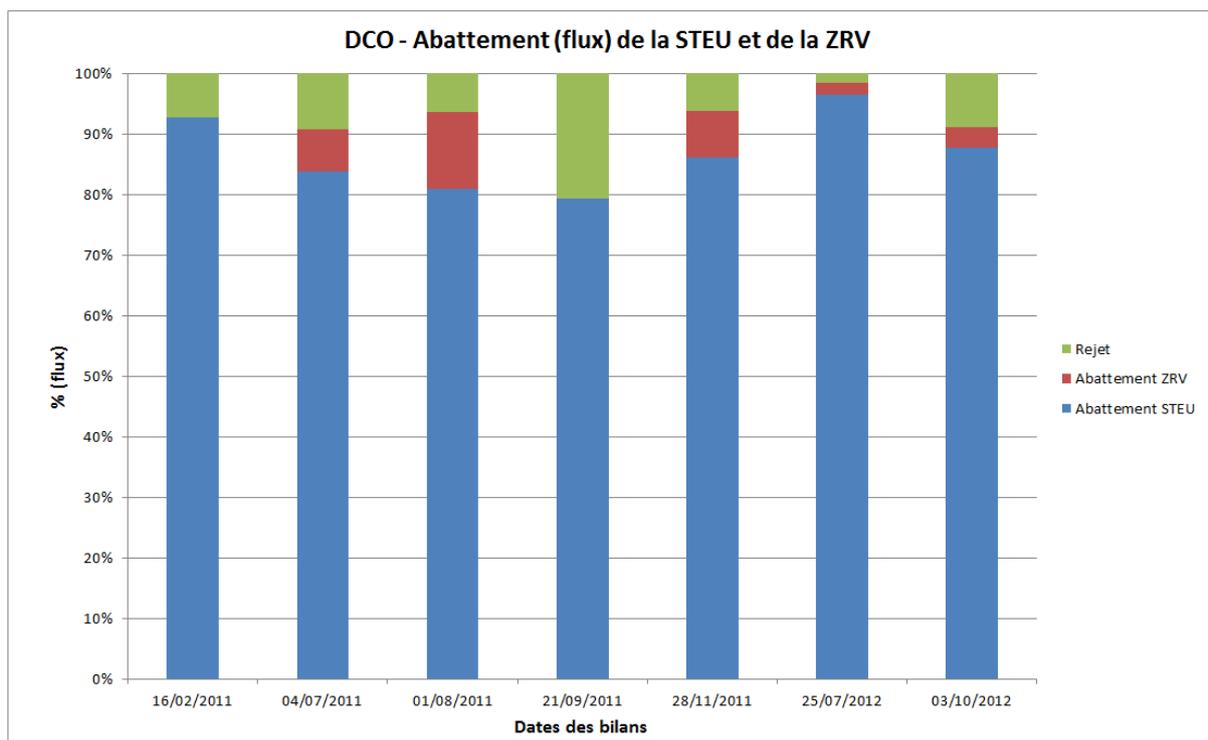


Figure 42 : Part d'abattement de la STEU et de la ZRV de la pollution en DCO reçue par la station – Wahlbach

- **Le phosphore**

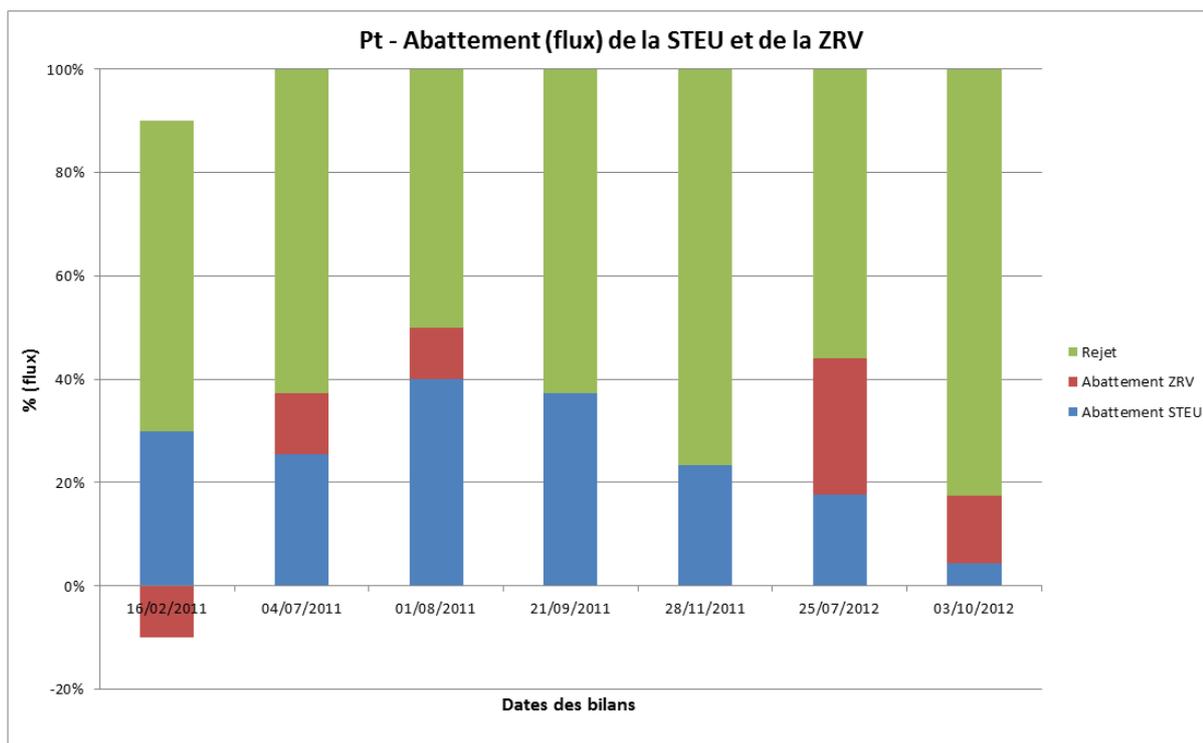


Figure 43 : Part d'abattement de la STEU et de la ZRV de la pollution en Pt reçue par la station – Wahlbach

D'après la figure 44, le FPREv du SIVOM traite peu la pollution phosphorée (en moyenne le rendement épuratoire vis-à-vis de ce paramètre est de 7%). La ZRV a permis dans quatre bilans sur sept un abattement complémentaire du phosphore avant le rejet des eaux au milieu naturel, soit un rendement moyen pour ces bilans de 17%.

Le 16/02/11, il y a eu un relargage de Pt par la ZRV (-14% du flux entrant dans la STEU). Cependant les concentrations en entrée et en sortie d'ouvrage étaient faibles (respectivement de 0,5 mg/l et 0,6 mg/l) donc il faut relativiser cette valeur.

- **Le NGL**

En moyenne, la ZRV participe à l'abattement de 10% du flux de NGL entrant à la STEU. Ce qui représente un rendement épuratoire pour ce paramètre de 14%.

Principalement composé de NH_4^+ (24,7 mg/l de NH_4^+ pour 37,8 mg/l de NGL en moyenne) en entrée de station, on remarque que le NGL est majoritairement composé de nitrate (19,3 mg/l de NO_3^- pour 24,6 mg/l de NGL) en sortie des FPREv. En sortie de ZRV, la concentration en nitrate est de 15,41 mg/l. Les FPREv nitrifient bien la pollution azotée mais ne permettent pas une bonne dénitrification. La ZRV complète cet abattement (voir figure 45).

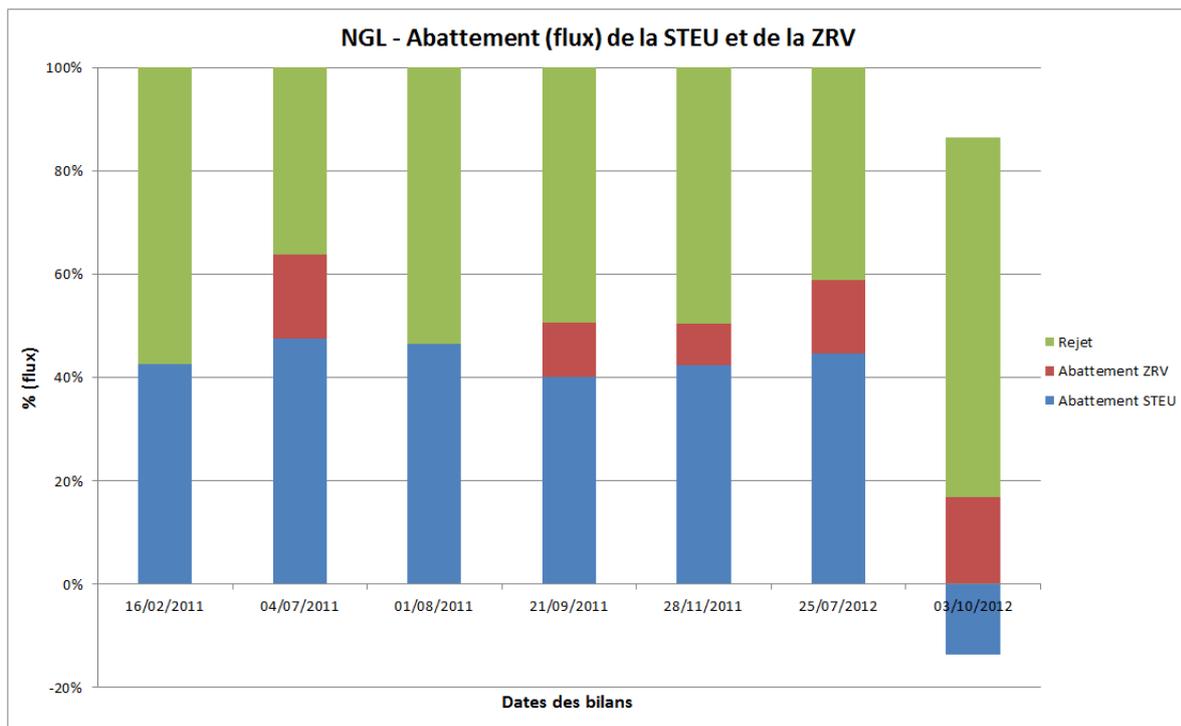


Figure 44 : Part d'abattement de la STEP et de la ZRV de la pollution en NGL reçue par la station – Wahlbach

Le 03/10/12, en entrée de STEU les concentrations en NGL étaient de 34,5 mg/l (composé totalement de NH_4^+) alors qu'en sortie elles étaient de 40,9 mg/l (dont 35,3 mg/l de NO_3^-). Malgré un rendement épuratoire négatif, les FPREv ont nitrifié la pollution azotée organique. La ZRV a quant à elle eu un rendement épuratoire sur ce paramètre de 25%, baissant les concentrations en NGL entre l'entrée et la sortie de l'ouvrage de 40,9 mg/l à 32,9 mg/l (combiné à une réduction du flux hydraulique de 14 m³).

6.3.3.4 Focus sur le temps de pluie

Dans cette configuration, la ZRV de Wahlbach-Zaessingue reçoit les eaux issues du trop-plein de la station ainsi que les eaux brutes traitées. Cinq bilans ont été réalisés en temps de pluie. La figure 46 ainsi que la figure 47 mettent en relation les volumes d'eau passés dans les canaux venturés en entrée et en sortie de ZRV le 04/12/12.

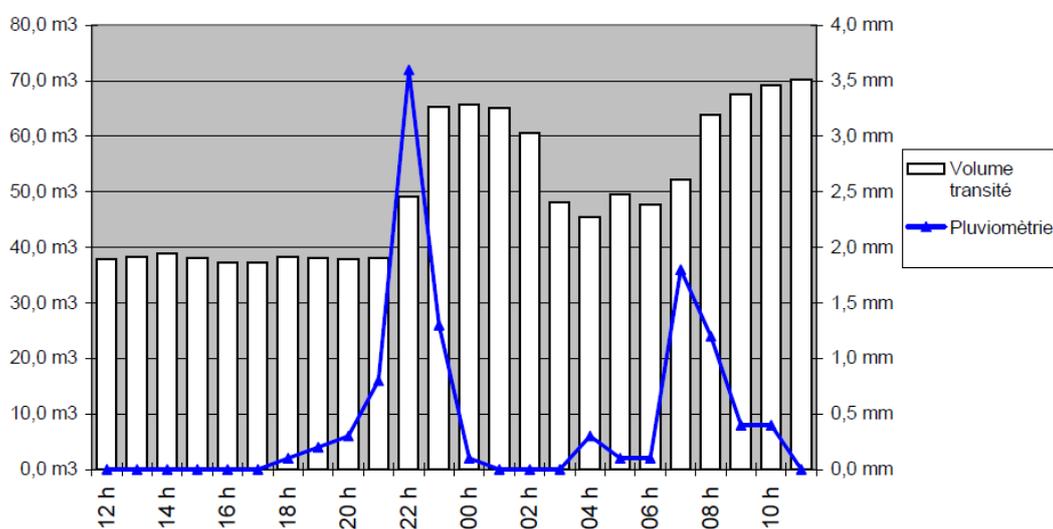


Figure 45 : Comptage des volumes d'eau en entrée de la ZRV de Wahlbach le 04/12/12

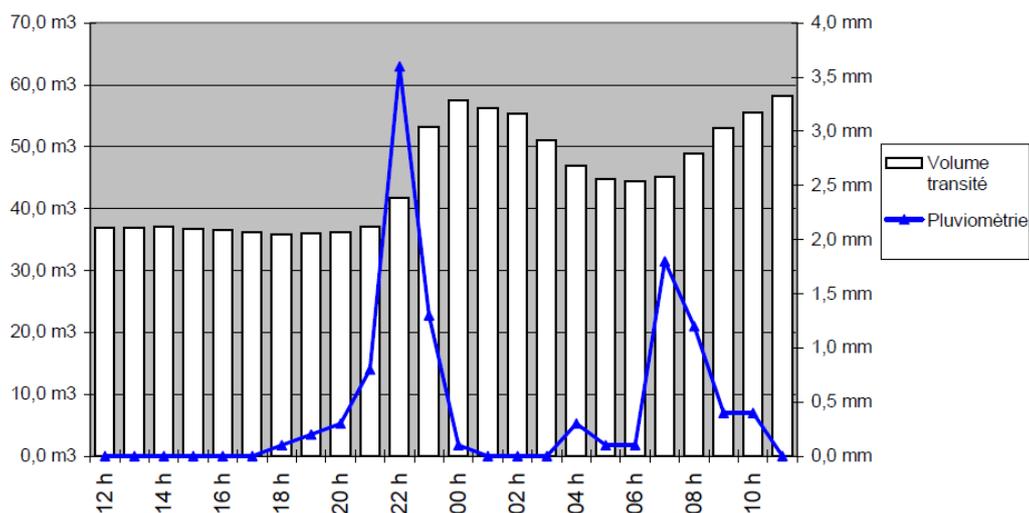


Figure 46 : Comptage des volumes d'eau en sortie de la ZRV de Wahlbach le 04/12/12

La comparaison de ces deux graphiques permet d'observer un léger effet tampon de la ZRV. En effet le débit maximum enregistré après le premier événement pluvieux entrant dans la ZRV est de 66 m³/h alors qu'en sortie il n'est plus que de 58 m³/h. De plus, le pic du volume d'eau est différé d'environ une heure entre son entrée et sa sortie de la ZRV. La conception en chenal de la ZRV et le rejet du by-pass important ici dans la ZRV explique ce faible effet tampon.

En fin d'année 2012, la ZRV a subi une inondation. Les deux bilans de fonctionnement réalisés après cette date ne sont pas pris en compte car jugés non représentatifs du fonctionnement normal de la ZRV.

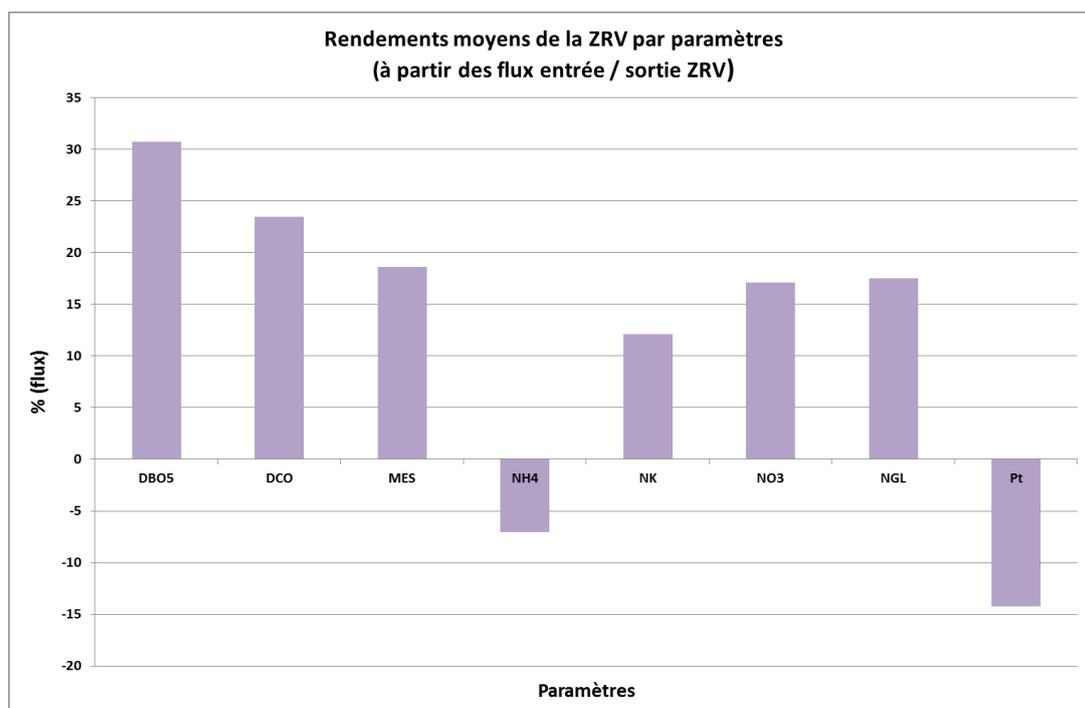


Figure 47 : Rendements épuratoires de la ZRV en temps de pluie - Wahlbach

En temps de pluie la ZRV permet bien un complément d'épuration pour la pollution organique (DBO5 et DCO) ainsi que pour les MES, le NK, le NO_3^- et le NGL. Bien que les rendements épuratoires du NH_4^+ soient négatifs, les moyennes des concentrations en sortie de ZRV restent bonnes (2,72 mg/l). Ce même constat peut être fait pour le paramètre phosphore car malgré un rendement épuratoire moyen de -14%, les concentrations en sortie de ZRV étaient de 1,28 mg/l.

D'après la figure 49, la ZRV a permis un traitement des eaux by-passées sur les paramètres DBO5, DCO, MES, et NH_4^+ avant qu'elles ne rejoignent le milieu naturel.

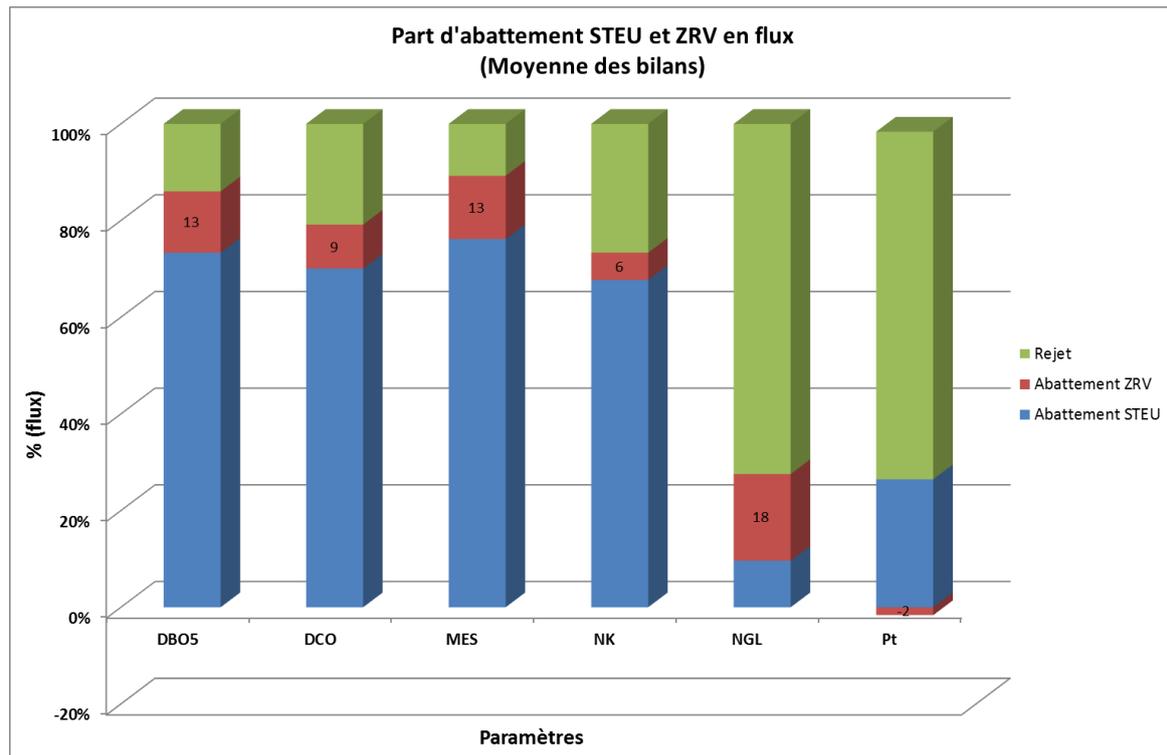


Figure 48 : Part d'abattement de la STEU et de la ZRV du flux de pollution arrivant en tête de filière de traitement – Wahlbach

6.3.3.5 Temps de séjour et distribution hydraulique

Ci-dessous des photographies prises à intervalle de temps réguliers et au même emplacement sur la ZRV de Wahlbach-Zaessingue.



Figure 49 : Dissipation des traceurs fluorescents dans la ZRV de Wahlbach

Le débit moyen mesuré en amont de la ZRV est de $11,0 \text{ m}^3/\text{h}$ et celui en aval est de $12,3 \text{ m}^3/\text{h}$. Au regard des débits minimaux et maximaux, on voit que la noue absorbe la charge hydraulique et linéarise le débit. En outre, d'après les courbes, le volume minimal se situe à la même heure d'où un temps de séjour probablement très court qui devra être confirmé par le traçage. De manière inhabituelle sur ce site, on retrouve 30 m^3 de plus en sortie. On peut supposer qu'il s'agit d'une conséquence de l'inondation avec des infiltrations d'eau via le système de drainage du champ voisin. C'était un terrain très humide avant la construction de la STEU et même si la surface semblait relativement sèche, il est probable que le sous-sol était encore gorgé d'eau. Les débits moyens durant les expériences sont respectivement de $13,6 \text{ m}^3/\text{h}$, $12,8 \text{ m}^3/\text{h}$ et $12,3 \text{ m}^3/\text{h}$ pour les expériences à la SRB, à l'UR et au sel.

La figure 51 présente la chronique des débits en sortie de la ZRV durant l'expérience de traçage. Les couleurs indiquent les durées respectives des 3 expériences : Rose pour le SRB + UR et les hachures pour le sel.

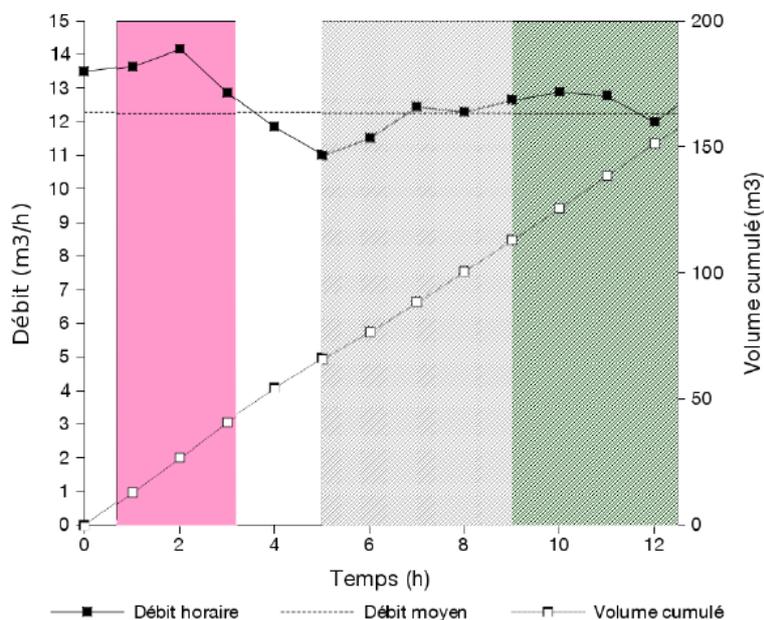


Figure 50 : Chronique des débits durant les expériences - ZRV de Wahlbach

La courbe de traçage présentée sur la figure 52 est caractérisée par un pic unique révélateur de l'écoulement au sein d'un réacteur piston avec dispersion. Cependant, la trainée est légèrement plus longue que celle observée avec la SRB.

La courbe de traçage présentée sur la figure 53 est caractérisée par un pic unique, propre de l'écoulement au sein d'un réacteur piston avec dispersion.

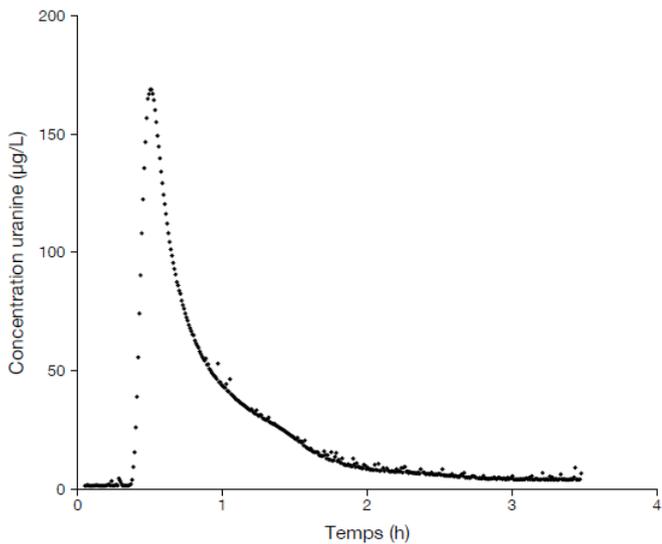


Figure 51 : Courbe de traçage à l'UR - ZRV de Wahlbach

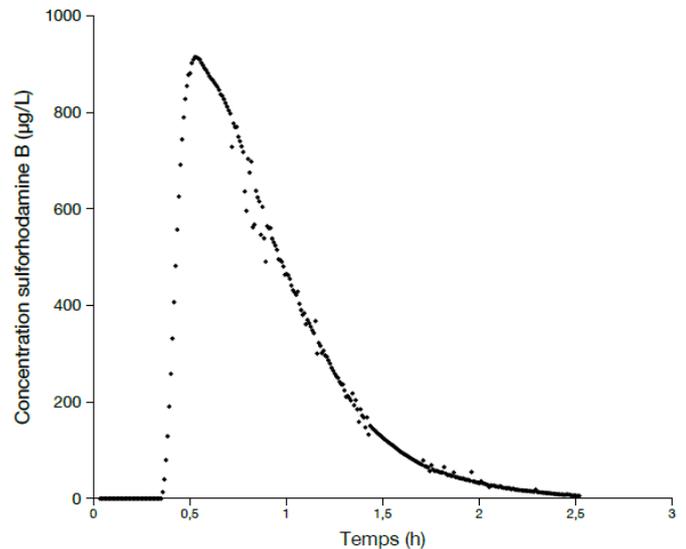


Figure 52 : Courbe de traçage à la SBR - ZRV de Wahlbach

La courbe de traçage au sel est présentée sur la figure 54. Malheureusement, cette courbe est inexploitable : le bilan masse ne serait bouclé qu'à un peu plus de 50%.

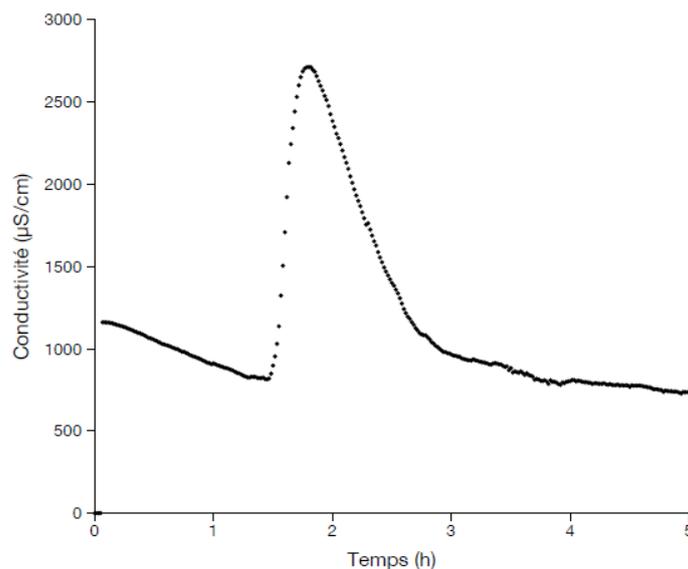


Figure 53 : Courbe de traçage au sel - ZRV de Wahlbach

Les DTS calculées pour les deux traceurs fluorescents sont présentées sur la figure 55. Les valeurs ont été adimensionnalisées afin de comparer les signaux entre eux.

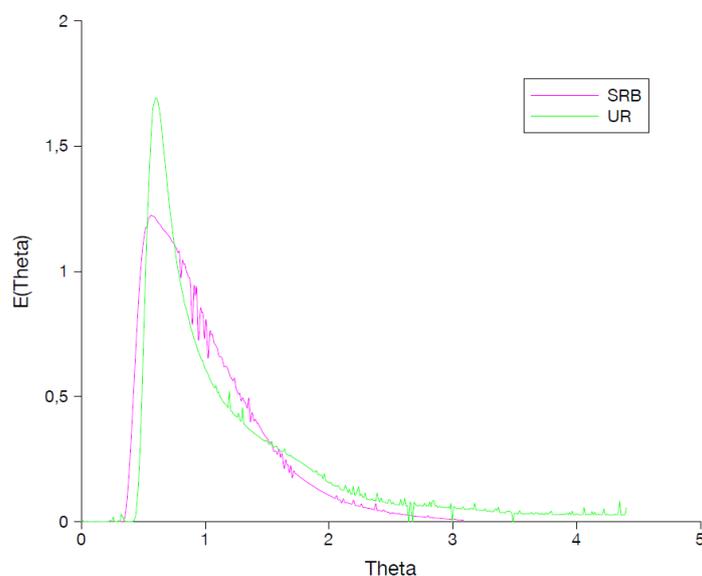


Figure 54 : Distribution des Temps de Séjour - Traceurs fluorescents - ZRV de Wahlbach

A partir des courbes de traçage et des DTS, les paramètres présentés dans le tableau 27 ont pu être calculés.

	Sulforhodamine B	Uranine
Récupération durant expérience (%)	104,1	104,3
Temps de 1ère apparition du traceur (s)	990	1200
Indice de court-circuit (%)	10,4	11,8
Temps de passage (h)	2,7	2,8
Temps de séjour moyen (h)	0,8	0,8
Temps de séjour au bout duquel 50 % du traceur est sorti (h)	0,7	0,7
Fraction de traceur récupérée au temps de séjour moyen (%)	62,0	57,7
Volume accessible au fluide (m ³)	10,7	10,0
Volume mort (m ³)	25,3	26,0
Variance (s ²)	1,8.10 ⁶	1,5.10 ⁷
Nombre de Péclet	7,9	9,4

Tableau 28 : Paramètres déterminés à partir des courbes de traçage - ZRV de Wahlbach

La récupération est totale pour les deux traceurs fluorescents (bilan légèrement supérieur à 100% en raison des incertitudes de mesure liées notamment à la forte turbidité des eaux en sortie). Cela suggère l'absence de phénomènes de sorption et de photodégradation significatifs (à noter que l'injection d'UR a été réalisée de nuit).

Le temps de séjour dans la ZRV est environ 3 fois plus court que le temps de passage théorique : il est important de rappeler ici que toute une portion de la noue n'est pas alimentée en raison des modifications topographiques liées à l'inondation de juin 2013. Le volume mort est ainsi très important.

Le temps de première apparition du traceur est également très court (entre 13 et 20 min). Le nombre de Péclet calculé pour les deux traceurs indique une dispersion assez modérée, en cohérence avec les observations visuelles et les paramètres précédents : l'écoulement dans la noue est rapide avec par conséquent une composante advective du transport du traceur relativement importante.

6.4 Comparaison de ces trois ZRV

Les ZRV étudiées sont de morphologies, de fonctionnement et de volumes différents. Cependant, leur alimentation et leur emplacement dans la chaîne de traitement restent identiques. De plus, l'un de leurs objectifs communs est d'apporter un éventuel traitement de finition aux effluents traités par les FPREv.

Les 3 stations reçoivent un effluent bien traité par le FPR à 2 étages ce qui explique la difficulté d'analyse des résultats pour certains paramètres (concentrations faibles, rendements très fluctuants mais flux rejetés restants faibles).

6.4.1 Abattement relatif de la pollution par les ZRV étudiées

Comme vu précédemment, la principale différence entre ces zones de rejet est leur conception (morphologie, temps de séjour...). Ce paramètre ne peut à lui seul justifier des tendances épuratrices observées, mais d'autres facteurs comme la nature du sol, la végétation et les apports de by-pass en tête de STEU le sont aussi.

L'exploitation d'une chronique de bilans plus importante pour Lutter (jusqu'à 7 ans) et dans une moindre mesure pour Liebsdorf permettent d'observer des tendances ; les résultats de la station de Wahlbach sont en revanche limités à 2 années d'observation.

La contribution à la dépollution des trois ZRV pour les paramètres étudiés est reportée sur le graphique ci-après.

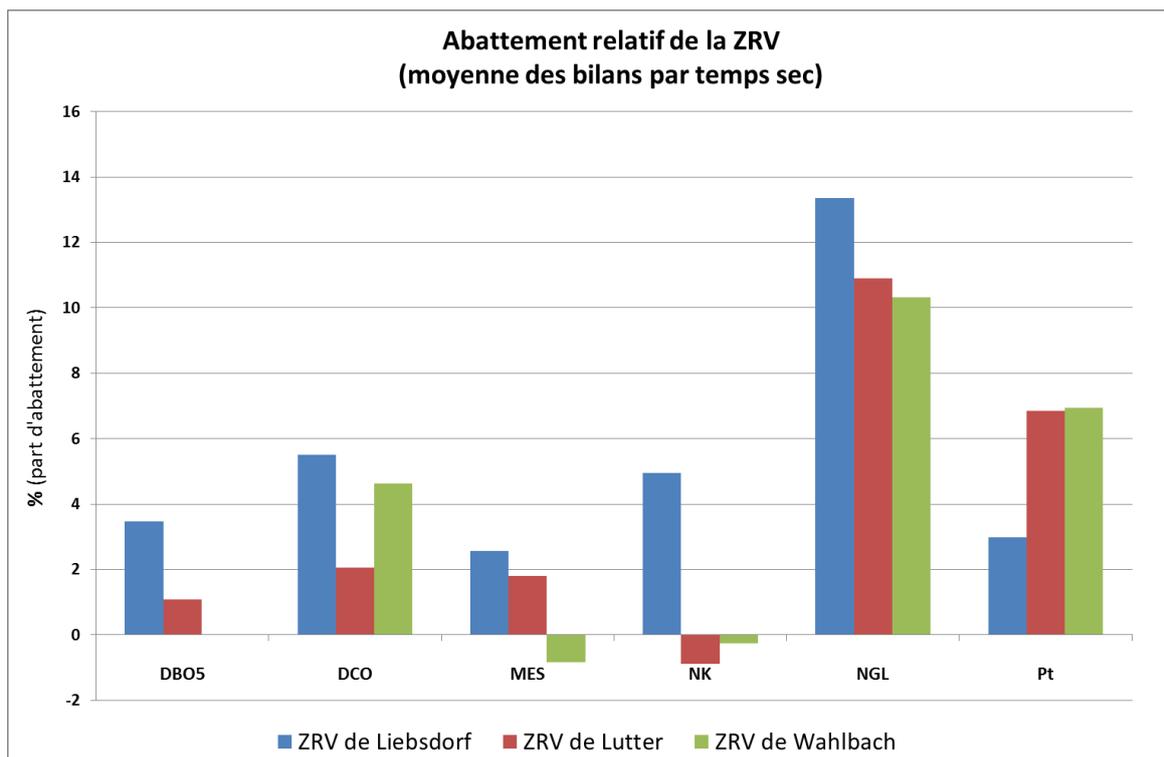


Figure 55 : Contribution à la dépollution des ZRV étudiées, par rapport au flux arrivant aux STEU

Attention : ce graphique présente des **valeurs moyennes** des bilans réalisés, mais ne traduit pas l'évolution dans le temps observée dans le chapitre précédent, ni les hétérogénéités intra-annuelles.

Le graphique ci-dessus montre que les ZRV ont une action globalement positive sur l'azote global (NGL) et dans une moindre mesure sur le phosphore total (Pt) (pour la ZRV de type lagune de Lutter). Pour la ZRV de type mare, on obtient 31% d'abattement du NGL en moyenne pour 45% des bilans présentant un rendement significatif. Pour la ZRV de type noue infiltrante, 70% des bilans montrent un rendement significatif avec en moyenne 23% d'abattement du NGL. On constate un abattement relatif limité pour les paramètres MES, DCO, DBO5 et NK (sauf pour Liebsdorf). Le suivi détaillé de ces résultats met en évidence de fortes variabilités intra annuelles avec parfois des relargages dégradant le rejet (principalement en période hivernale).

La ZRV de Liebsdorf est la seule qui semble apporter un abattement significatif sur le paramètre NK, avec des valeurs assez variables, de nulles à moyennes.

Les ZRV vont permettre généralement d'améliorer la qualité du rejet sur le paramètre NGL, voire le Pt.

La ZRV de Lutter présente un taux d'abattement intéressant sur le paramètre phosphore, qui peut s'expliquer par la morphologie de la ZRV, favorable au fort développement d'algues constaté en période de températures plus élevées. Son suivi montre également une baisse d'efficacité dans le temps, ce qui peut être lié à la saturation des sols. En effet, cette ZRV voit

ses performances diminuer après 2 à 3 années de fonctionnement, notamment sur les paramètres NK et Pt. Les boues et sédiments accumulés dans l'ouvrage doivent être extraits régulièrement.

La ZRV de Wahlbach en forme de noue élaborée possède également un taux d'abattement intéressant sur le paramètre Pt, mais le faible nombre de bilans et l'absence de suivi au-delà de 2 ans ne permettent pas de conclure.

6.4.2 Rendements épuratoires des ZRV

Les rendements épuratoires présentés sur la figure 57 ont été calculés à partir de la moyenne des flux significatifs entrants et sortants des ZRV.

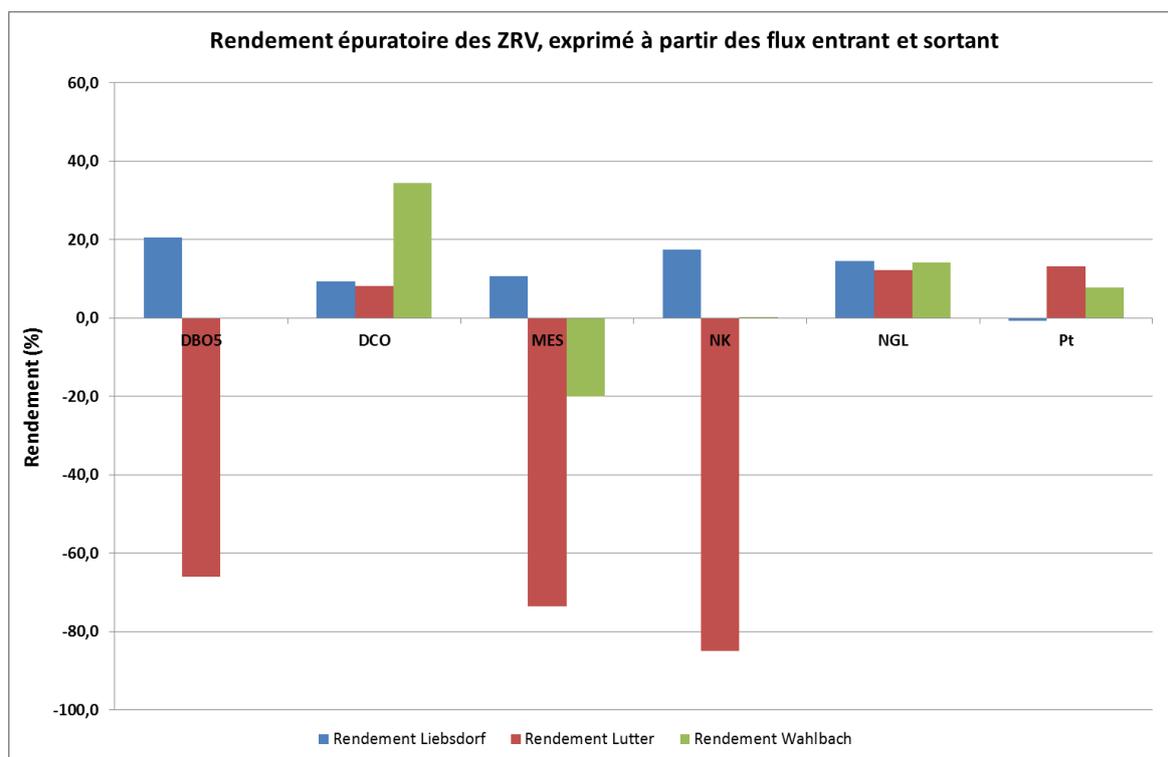


Figure 56 : Rendements épuratoires des ZRV, calculés à partir des flux entrant à la STEU en temps sec

■ DBO5

Les concentrations en DBO5 en entrée de ZRV à Lutter et Liebsdorf sont faibles, ce qui peut expliquer les variations fortes des rendements en cas de relargage (matière organique, sédiments..).

Les apports de by-pass en tête de station directement dans la ZRV de Lutter peuvent expliquer ces différences.

■ DCO

Les concentrations en entrée de ZRV sont comprises entre 5 et 60 mg/l. En sortie elles sont de 22,7 mg/l en valeur moyenne. Les ZRV de Lutter et de Liebsdorf semblent avoir des rendements épuratoires faibles et assez proches.

- **MES**

Les concentrations pour ce paramètre en entrée de ZRV sont également faibles. L'observation des rendements épuratoires des ZRV sur le paramètre MES n'est pas pertinent sur le temps sec car les concentrations en sortie de FPRev sont très faibles (en moyenne 6,46 mg/l).

- **NK**

Les concentrations pour ce paramètre en entrée de ZRV sont également faibles. Les rendements moyens concernant le paramètre NK mettent en évidence que les flux en sortie d'ouvrage sont plus importants qu'en entrée (ZRV de Lutter et de Liebsdorf). Cette dégradation du rejet peut s'expliquer par la décomposition des végétaux morts et par un vieillissement marqué de la ZRV, une évolution étant observée à Lutter (voir partie 6.3.1.3 Focus sur les abattements épuratoires de la ZRV supérieurs à 5%).

Cependant les flux mesurés restent très faibles et la dégradation de qualité du rejet est négligeable sur les stations étudiées.

- **NGL**

Comme vu précédemment, le NGL est principalement composé de nitrates en sortie de station type FPRev. La présence importante de végétation est l'un des facteurs majeurs permettant un abattement important. Les trois ZRV permettent de réduire de 12 à 15% les flux de pollution entrant dans les ouvrages selon les périodes de l'année.

- **Pt**

Les concentrations pour ce paramètre en entrée de ZRV sont également faibles. Les rendements sur le phosphore sont significatifs pour la ZRV de Lutter, qui a un rendement moyen supérieur à 13,2% et intéressant pour celle de Wahlbach (8%).

6.4.3 Focus sur les abattements de la pollution en temps de pluie

Ci-dessous, les rendements épuratoires ont été calculés à partir de la moyenne des flux significatifs entrants et sortants des ZRV en temps de pluie. Le faible nombre de bilans amène à la prudence quant à l'analyse de ces résultats.

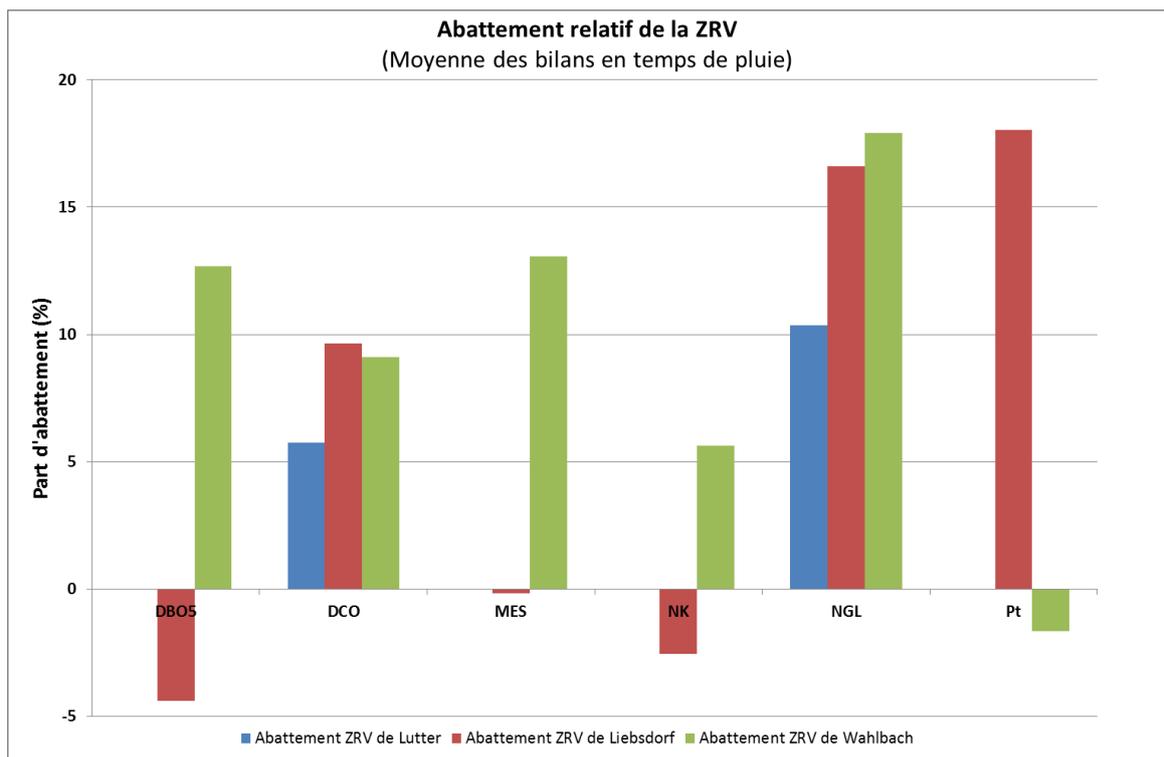


Figure 57 : Rendements épuratoires des ZRV, calculés à partir des flux entrant à la STEU en temps de pluie

La figure 58 met en évidence les parts d'abattement moyen de la pollution entrant à la STEU en temps de pluie et par paramètre. Les ZRV semblent permettre un abattement significatif de la pollution en NGL.

D'un point de vue général, la ZRV de Wahlbach, de type mares et fossés, permet un meilleur abattement de la pollution entrant à la STEU en temps de pluie.

❖ Flux issus du by-pass de tête de station et macro-déchets :

Les ZRV des stations de Lutter et Wahlbach-Zaessingue reçoivent les effluents non traités et grossièrement dégrillés des déversoirs d'orage de tête de station. Les réseaux amont sont unitaires et alimentent un poste de pompage qui par temps de pluie peut rejeter une charge polluante directement au milieu naturel.

La ZRV de Wahlbach-Zaessingue a permis de retenir une partie importante des macro-déchets rejetés par temps de pluie, comme le montre la photo ci-dessous :



Figure 58 : Accumulation de boues et déchets sur la ZRV de Wahlbach-Zaessingue - AERM

6.4.4 Focus sur l'abattement de la pollution azotée (nitrates) et phosphorée

D'après la Figure 56 : Contribution à la dépollution des ZRV étudiées, par rapport au flux arrivant aux STEU, page 75, les ZRV complètent l'abattement du NGL (principalement composé de NO_3^-) et du phosphore effectué précédemment par les STEU. La figure 60 ci-après, reprend les moyennes des rendements épuratoires des nitrates et du phosphore en fonction des mois où les bilans ont été effectués sur toute la période du suivi.

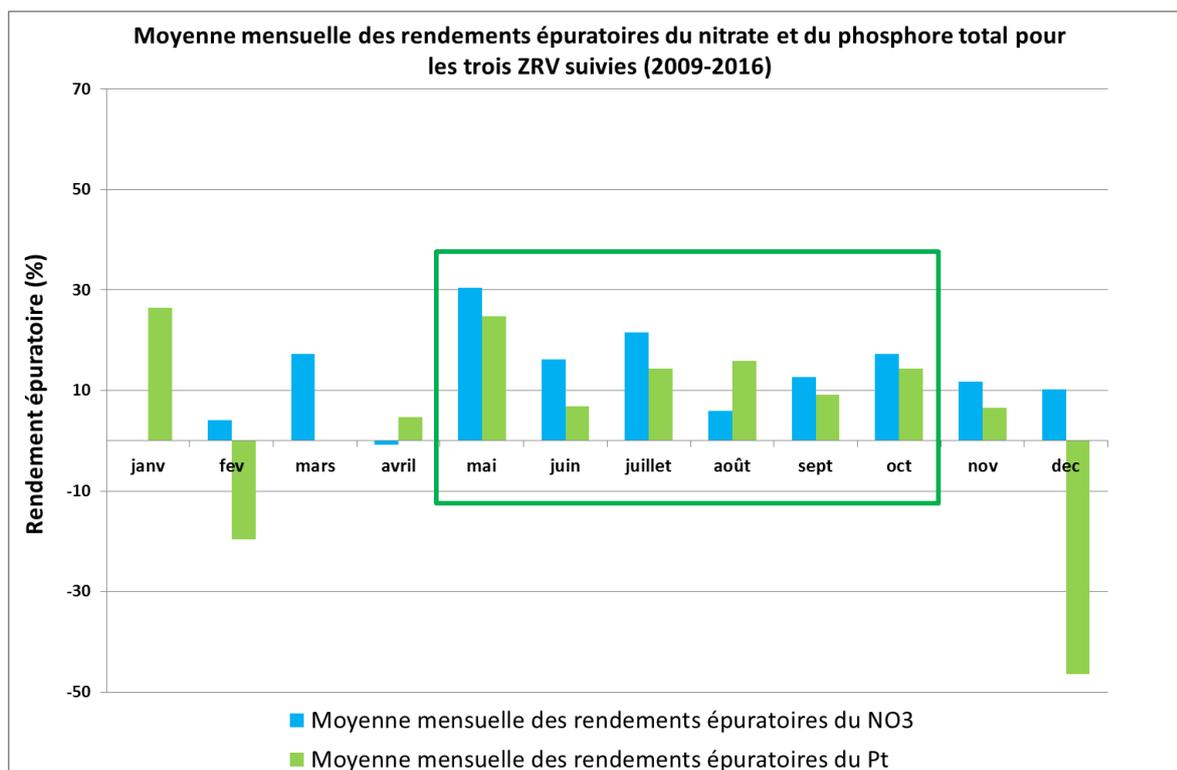


Figure 59 : Moyenne mensuelle des rendements épuratoires des ZRV mis en relation avec les mois de prélèvement

Les ZRV semblent être le plus efficace sur les abattements des nitrates et du phosphore en période estivale et sur le début de l'automne (Mai - Octobre). En effet, les rendements moyens vont de 6% à 30% pour les nitrates et de 7% à 25% pour le phosphore, avec un pic au mois de mai. Attention : il s'agit de moyennes, certains bilans présentent des valeurs nulles.

Ces variations intra-annuelles sont en adéquation avec les périodes sèches et humides, et le développement de la végétation implantée dans les ZRV. Cependant, il faut rappeler que les quantités d'azote et de phosphore absorbées par les végétaux restent négligeables par rapport aux flux entrants. Les principaux mécanismes de réduction des flux rejetés sont l'infiltration et dans une moindre mesure l'évapotranspiration des végétaux (phénomène saisonnier). Ces performances sont à relativiser au regard du vieillissement des ZRV.

Voir [EPNAC. Rôle des végétaux dans le traitement des eaux usées. 2014](#)

6.4.5 Temps de séjour et hydrodynamique des trois ZRV

L'hydrodynamique des trois ZRV de Liebsdorf, Wahlbach et Lutter a été étudiée via l'utilisation de trois traceurs : la SRB, l'UR et le chlorure de sodium. La SRB a permis de caractériser de manière relativement précise la DTS dans la mesure où le taux de récupération a toujours dépassé les 80%. Dans le cas de l'UR, la récupération a été très faible pour la ZRV de Lutter, soulignant le potentiel de dégradation de polluants photosensibles dans cet ouvrage. La même conclusion ne peut être émise dans le cas de Liebsdorf et Wahlbach dans la mesure où l'UR y a été injectée de nuit.

Pour les trois ZRV étudiées, les temps de séjour moyens relevés sont toujours très inférieurs au temps de passage théorique déterminé à partir du volume de conception des ouvrages et du débit de référence. Cela laisse supposer un comblement partiel des ZRV et/ou la présence de zones mortes très importantes. A des fins de comparaison, la figure 61 présente les 3 DTS adimensionnalisées déterminées à partir de la SRB.

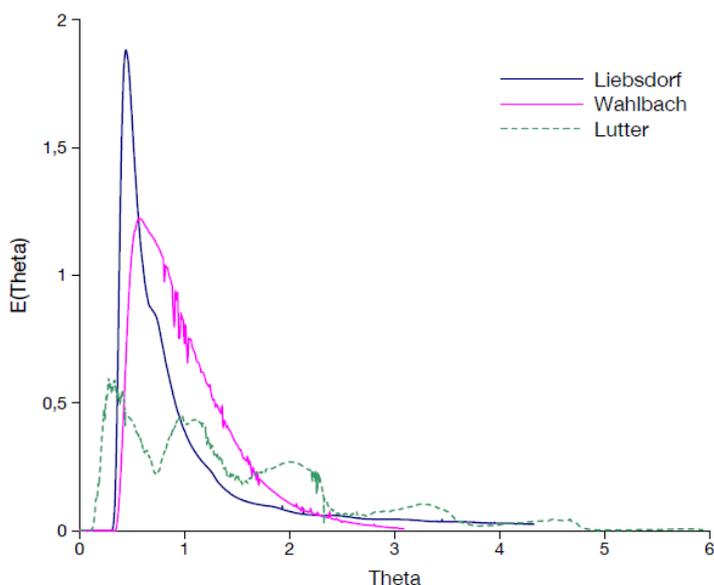


Figure 60 : DTS déterminée à partir des traçages à la SRB pour les trois ZRV étudiées

Les ZRV de Liebsdorf et Wahlbach (noues) ont un comportement proche de réacteurs piston avec dispersion. A Liebsdorf, la dispersion (nombre de Péclet très faible) est plus marquée en raison de la présence d'une importante trainée. Cette dernière est probablement générée sous l'influence de zones stagnantes proches des berges des noues et du couvert végétal beaucoup plus dense qu'à Wahlbach.

La ZRV de Lutter présente un comportement très différent des 2 précédentes ZRV. La géométrie de l'ouvrage constitué d'une lagune induit un comportement typique de réacteur très peu agité avec recirculation interne lente mais d'amplitude importante. Un modèle de type mécanique des fluides numériques validé permettrait d'extrapoler le comportement des ouvrages pour différents débits. Enfin, il serait intéressant de reproduire ces expériences

pour des débits caractéristiques de temps de pluie et évaluer l'impact du coup de charge hydraulique.

7 Conclusion

Cette étude fut menée sur trois ouvrages différents situés dans le Haut-Rhin donc soumis aux mêmes conditions climatiques. Elle ne permet pas d'avoir une vision globale et définitive sur les performances épuratoires des ZRV. Cependant elle fournit des premiers éléments sur la base du premier suivi long réalisé sur ce type d'ouvrage (jusqu'à 7 années et plus de 30 bilans pour la station de Lutter) et met en évidence les tendances suivantes :

- Les ZRV améliorent peu ou pas la qualité du rejet pour les paramètres DCO, DBO5, MES et NK (parts d'abattelements complémentaires de nulle à 5%), en particulier dans les cas suivis dont les concentrations sont déjà faibles en sortie des filières classiques adaptées aux petites collectivités (filtres plantés de roseaux à deux étages, lagunes...)
;
- Ces ouvrages présentent en revanche un intérêt pour le paramètre NGL en période sensible (de mai à octobre), dont les concentrations en sortie de station sont plus importantes (23,2 mg/l en moyenne en sortie de FPREv sur Liebsdorf contre 18,5 mg/l en sortie de ZRV). Des rendements significatifs sont constatés mais avec des valeurs très variables, de nulles à très élevées ;
- Sur l'une des stations de forme lagunaire, on observe une dégradation de ces performances dans le temps au bout de 2 à 3 ans de fonctionnement pour les paramètres NK et Pt, ce qui peut être rattaché à l'accumulation de boues dans le système et à une saturation du sol ; la question de l'entretien des ZRV et du devenir de ces boues se posent pour les collectivités concernées ;
- En temps de pluie, les ZRV permettent d'optimiser la protection du milieu naturel. En effet, lors d'épisodes pluvieux intenses, le trop plein déversé en tête de station, après dégrillage, peut être dirigé vers la zone, si prévue à la conception (décantation en tête). Celle-ci joue un rôle de tampon par lissage du débit de pointe et une restitution progressive des eaux. 2 des 3 ZRV collectent les by-pass en tête de station et les réseaux amont sont unitaires (Wahlbach-Zaessingue et Lutter). La charge hydraulique et polluante peut être importante et remettre en suspension les boues décantées, mais la ZRV peut également être un piège efficace si une zone de décantation est aménagée, notamment pour les macro-déchets non collectés (exemple de Wahlbach-Zaessingue) si sa conception y est bien adaptée ;
- L'entretien de ces ZRV est limité aux abords, mais cette problématique va se poser pour l'exploitant (pousses d'arbres dans la ZRV de Liebsdorf, accumulation de boues à Wahlbach ...).

Forte de ce constat, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse a réalisé depuis 2 ans d'autres suivis sur des ZRV situées en aval de FPR 1 étage avec des niveaux de traitement plus faibles. **Des ZRV de type « prairie humide »** ont notamment été suivies (3% des ZRV sur le bassin Rhin-Meuse), elles favorisent l'infiltration d'une partie des flux et un traitement par filtration du sol. Les résultats sont intéressants avec une amélioration des concentrations de rejet et une baisse des flux polluants conséquente (ex. station de Fontenoy-la-Joute, 12 bilans). Elles se montrent efficaces pour la réduction des paramètres concernant l'azote global et le phosphore dans les cas suivis. On observe en moyenne 34% de part d'abattement pour l'azote global et 21% pour le phosphore. Pour tous les bilans, un rendement positif en flux est constaté en NGL : 51% en moyenne, et 83% des bilans présentent un abattement significatif de 37% en moyenne pour le Pt. Il faut favoriser les systèmes les plus extensifs possibles pour maintenir leurs capacités hydrauliques dans le temps.

La thèse intitulée "[Devenir des résidus médicamenteux et de leurs métabolites au sein des zones de rejet végétalisées](#)" (Nuel et al) a mis en évidence la dégradation ou le piégeage d'un certain nombre de résidus médicamenteux. Un effet saisonnier est constaté avec notamment une différence entrée/sortie plus forte en période estivale. 60% des résidus médicamenteux entrant dans la station d'épuration sont dissipés par les filtres plantés de roseaux, et entre 0 et 30% par les ZRV pour la grande majorité des paramètres suivis. Cependant, ces molécules peuvent être métabolisées en d'autres qui n'ont pas encore été recherchées. On ne peut donc pas à ce stade affirmer que l'ensemble des substances non mesurées en sortie d'ouvrage soient effectivement éliminées ou retenues.

Les temps de séjour hydraulique moyens des trois ZRV étudiées dans ce rapport sont inférieurs aux temps de séjour théoriques. Ces faits sont dus notamment à la présence de zones mortes, causées par des phénomènes de stagnation de l'eau, de non écoulement, de développement des racines des végétaux dans l'eau et d'accumulation de sédiments.

Cette étude soulève plusieurs questions dont, notamment, la gestion des boues à venir car leur composition et leur fréquence d'extraction sont encore inconnues. Cette question est d'autant plus pertinente car la présence d'un comblement a été constatée en mai 2017 sur l'une des deux noues de la ZRV de Wahlbach-Zaessingue. L'exploitant envisage donc un curage des boues et des déchets accumulés. Cet entretien peut s'avérer nécessaire afin de maintenir des performances épuratoires de la ZRV acceptables. Une étude sur le bassin Rhin-Meuse est actuellement en cours afin de déterminer la faune s'établissant au sein des ZRV.

Afin de garantir un bon fonctionnement hydraulique, l'entretien régulier d'une ZRV apparaît indispensable. Les différents retours d'expériences sur le bassin Rhin-Meuse ont permis d'émettre quelques grands principes essentiels au bon vieillissement des ZRV et ont montré la nécessité d'intervenir sur la croissance de la végétation pour ne pas dégrader la qualité du rejet et générer des dysfonctionnements de la station. Pour cela, l'entretien ne se limite pas à la tonte des abords mais aussi à l'entretien des berges et du cœur de la ZRV. L'évolution de ces milieux conduit naturellement à un comblement progressif. La plaquette de

communication sur l'entretien des ZRV, publiée en 2018 ([Zone de rejet végétalisée, un concept qui fait ses preuves pour protéger le milieu naturel dans le bassin Rhin-Meuse](#)) par l'agence de l'eau Rhin-Meuse, regroupe quelques informations essentielles à la bonne gestion des ZRV. De plus, la récente publication d'un état des lieux des ZRV par l'Agence française pour la biodiversité fournit quelques indications à l'entretien de ces zones ([Les ZRV : repères scientifiques et recommandations pour la mise en œuvre](#)).

Les travaux nationaux en cours, issus de la recherche publique et privée, apportent d'autres éclairages mais ne sont pas conclusifs sur le dimensionnement et les abattements épuratoires garantis par ces ouvrages. Différents objectifs amènent des approches parfois très différentes des ouvrages présentés ici : ouvrages de grande ampleur en sortie de stations d'un niveau de traitement élevé, ZRV onéreuses en investissement et fonctionnement, recherche d'un rejet « 0 » au milieu superficiel, protection contre des départs de boue...

La création d'une zone de rejet végétalisée en sortie d'une station de traitement des eaux usées peut assurer une protection supplémentaire du milieu récepteur à certaines périodes de l'année, en cas de traitement insuffisant de la station. Cependant, certains bilans montrent aussi des abattements nuls voire des relargages. Cet **effet globalement positif** avéré sur les exemples analysés ne peut donc pas en l'état être utilisé comme une règle de dimensionnement. **La ZRV n'a pas vocation à devenir un traitement tertiaire**, mais elle peut constituer une mesure corrective efficace. **L'abattement des flux volumiques par une infiltration partielle lors des périodes d'étiage est à ce titre un moyen efficace de protéger les cours d'eau sensibles en tête de bassin versant** (notamment dans le cas des prairies humides). Elle permet également la **création de milieux humides fonctionnels**. De plus, elles apparaissent efficaces dans la **réduction des flux polluants rejetés**, notamment le NGL, d'après les suivis réalisés.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Agence de l'Eau Rhin Meuse, 2011. Aménagements des milieux naturels en aval de station d'épuration - Zone de rejet végétalisée.
- [2] Agence de l'Eau Rhin Meuse, 2018. ZONE DE REJET VÉGÉTALISÉE, un concept qui fait ses preuves pour protéger le milieu naturel dans le bassin Rhin-Meuse
- [3] Agence de l'eau Rhin-Meuse. SDAGE 2016 – 2021, Orientations fondamentales et dispositions, TOME 4.
- [4] Agence Française pour la biodiversité, 2017. Les zones de rejet végétalisées : repères scientifiques et recommandations pour la mise en œuvre
- [5] Bocanegra, E-Martinez, D-Massone, H (eds), 2002. An inexpensive field fluorometer for hydrogeological tracer tests with three tracers and turbidity measurement.
- [6] Boutin, C., Iwema, A., Lagarrigue, C., 2010. Point sur les Zones de Dissipation Végétalisées : Vers une protection supplémentaire du milieu récepteur de surface ? CEMAGREF - ONEMA.
- [7] Direction des affaires économiques et internationales, 2003. Fascicule 81 titre II - Conception et exécution d'installations d'épuration d'eau usées.pdf.
- [8] EPNAC, 2013a. Cadrage réglementaire des ZRV.
- [9] EPNAC, 2013b. Contenu des études préalables à la réalisation d'une Zone de Rejet Végétalisée.

[10] EPNAC, 2014. Rôle des végétaux dans le traitement des eaux usées.pdf.

[11] Laurent, J., Bois, P., Wanko, A., 2013. Evaluation de l'hydrodynamique de trois zones de rejet végétalisées par opération de multitraçage

[12] Maltais-Landry, Gabriel, Roxane Maranger, Jacques Brisson, and Florent Chazarenc. 2009. 'Nitrogen Transformations and Retention in Planted and Artificially Aerated Constructed Wetlands'. *Water Research* 43 (2): 535–45. doi:10.1016/j.watres.2008.10.040

[13] Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, 2015. Commentaire technique de l'arrêté du 21/07/2015. Partie 1 Conception et exploitation des systèmes d'assainissement.

[14] Nuel, M., Laurent, J., Bois, P., Heintz, D., Mosé, R., Wanko, A., 2017. Seasonal and ageing effects on SFTW hydrodynamics study by full-scale tracer experiments and dynamic time warping algorithms. *Chemical Engineering Journal* 321, 86-96

[15] Nuel, M., 2017. Devenir des résidus médicamenteux et de leurs métabolites au sein des zones de rejet végétalisées

[16] Riley, Kate A., Otto R. Stein, and Paul B. Hook. 2005. 'Ammonium Removal in Constructed Wetland Microcosms as Influenced by Season and Organic Carbon Load'. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 40 (6–7): 1109–21. doi:10.1081/ESE-200055594.

ANNEXES

ANNEXE 1 : CARTOGRAPHIE DES ZRV DU BASSIN RHIN-MEUSE.....	88
ANNEXE 2 : LOGIGRAMME PROPOSE PAR L'ATELIER ZRV DE L'EPNAC.....	89
ANNEXE 3 : DONNEES DE FONCTIONNEMENT - STEU DE LUTTER	90
ANNEXE 4 : DONNEES DE FONCTIONNEMENT - ZRV DE LUTTER	93
ANNEXE 5 : DONNEES DE FONCTIONNEMENT - STEU DE LIEBSDORF	95
ANNEXE 6 : DONNEES DE FONCTIONNEMENT - ZRV DE LIEBSDORF	98
ANNEXE 7 : DONNEES DE FONCTIONNEMENT - STEU DE WAHLBACH.....	100
ANNEXE 8 : DONNEES DE FONCTIONNEMENT - ZRV DE WAHLBACH.....	102
ANNEXE 9 : SUIVI PHOTOGRAPHIQUE DE LA ZRV DU SIA DE LUTTER-RAEDERSDORF	103
ANNEXE 10 : SUIVI PHOTOGRAPHIQUE DE LA ZRV DE LA COMMUNE DE LIEBSDORF.....	104
ANNEXE 11 : SUIVI PHOTOGRAPHIQUE DE LA ZRV DU SIVOM DE WAHLBACH-ZAESSINGUE	105

Annexe 1 : Cartographie des ZRV du bassin Rhin-Meuse



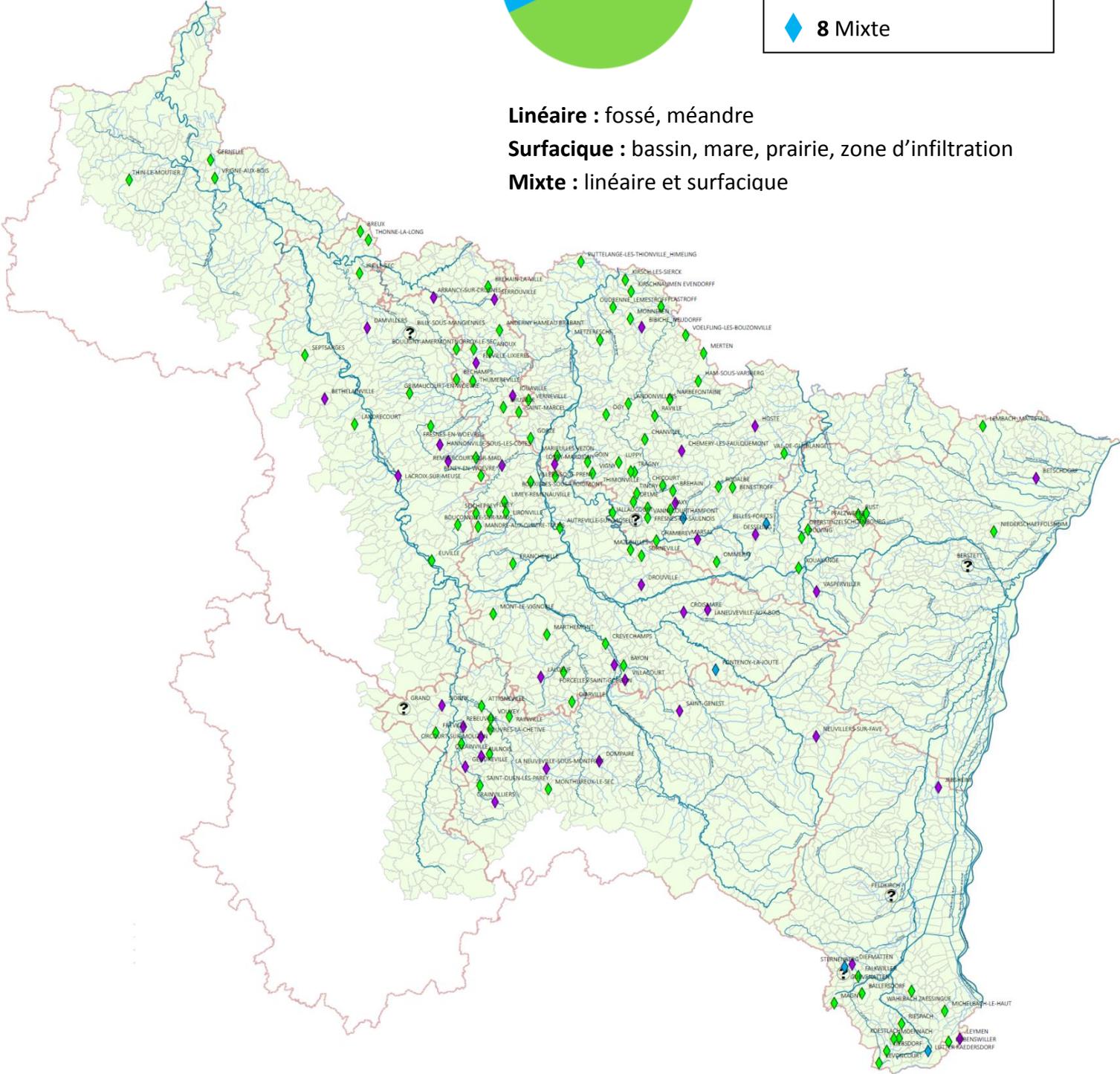
Typologie

- ◆ **110** Linéaire
- ◆ **44** Surfacique
- ◆ **8** Mixte

Linéaire : fossé, méandre

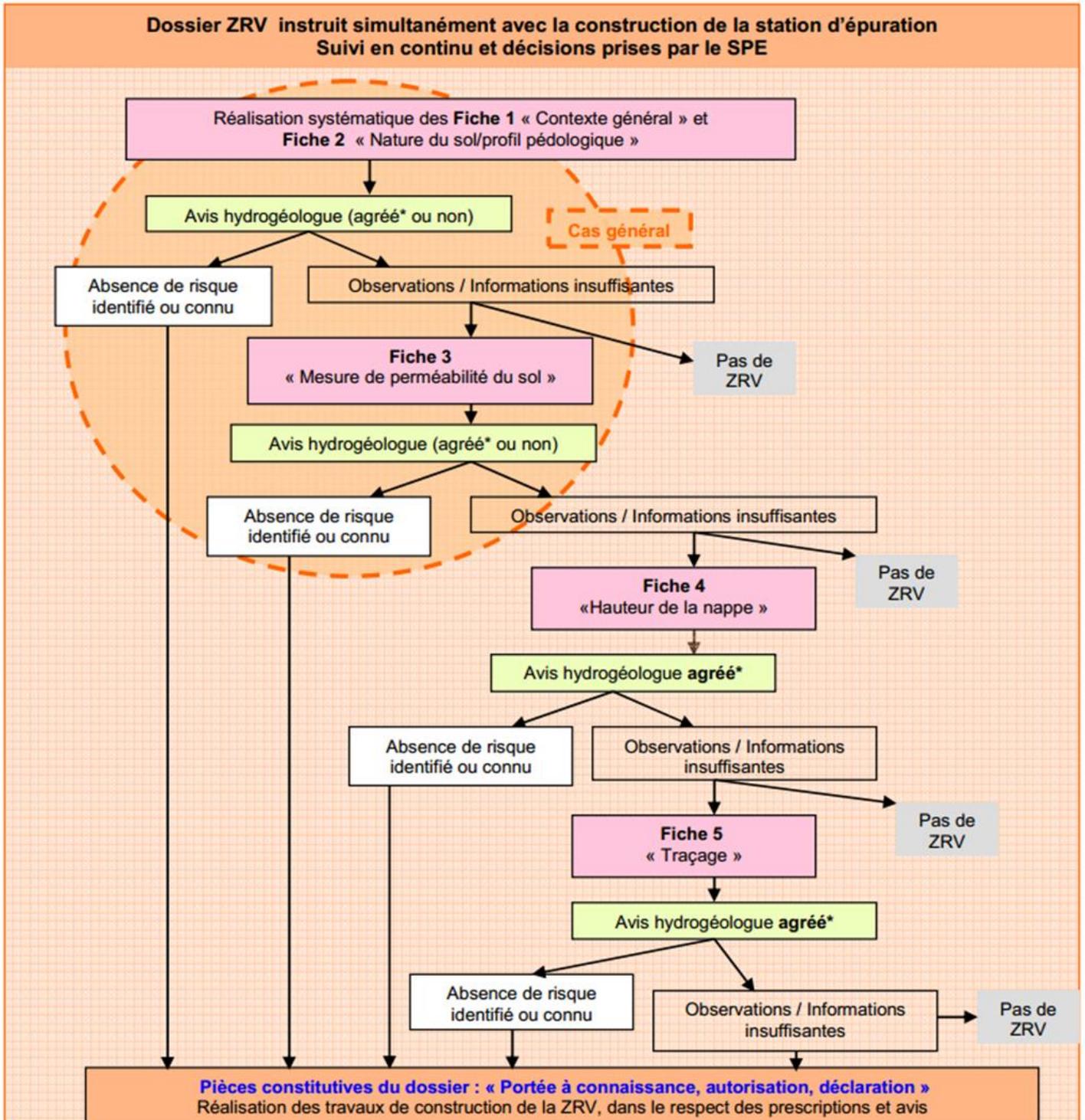
Surfacique : bassin, mare, prairie, zone d'infiltration

Mixte : linéaire et surfacique



Source : AERM – mai 2016

ANNEXE 2 : Logigramme proposé par l'atelier ZRV de l'EPNAC



*« L'avis de l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique est sollicité dès lors que la nappe d'eau souterraine réceptrice des eaux usées traitées infiltrées constitue une zone à usages sensibles ».

Figure 1 : Logigramme relatif aux études préalables à la réalisation d'une ZRV (station de traitement ≤ à 200 EH ou rejet non concerné par l'infiltration totale et permanente)

ANNEXE 3 : Données de fonctionnement - STEU de Lutter

Date	Débit journalier (m ³ /j)	TCH	TCO	TD	Météo	Pluvio (mm)	En entrée de station									
							DBO5 mg/l	DCO mg/l	MES mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	NK mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NGL mg/l	Pt mg/l	
30/06/2010	66	11	21	338	Sec	0	80	379	120	16,4	28,3	0,2	1,4	29,9	3	
12/08/2010	594	240	31	1300	Pluie la veille	0	25	139	170	15,8	38,2	0,3	1,1	39,6	1,3	
15/09/2010	59	24	2	1844	Sec	0	18	65	41	24,7	31,9	0,1	0,7	32,7	3,4	
02/11/2010	57	18	33	133	Sec	0	150	671	630	29,6	53,8	0,2	0,5	54,4	3,2	
15/12/2010	175	10	18	1196	Neige	0	27	118	46	14,5		0,3	3,6		1,3	
10/02/2011	67	27	17	179	Sec	0		301	150	27,1	41,6	0,1	0,7	42,3	3	
25/05/2011	64	10	13	265	Sec	0	80	230	57	41,6	55,4	0	0,5	55,9	5,2	
27/06/2011	168	49	67	82	Sec	0	140	462	250	39,2	53,8	0	0,9	54,7	5,3	
14/09/2011	70	3	7	600	Pluie la veille	0	20	120	39	24,6	31,4	0,2	0	31,6	3	
21/11/2011	108	44	34	131	Sec	0		364	190	23,6	38,1	0,1	0,7	38,9	1,6	
12/03/2012	92	37	19	240	Sec	0		247	130	34,9		0,1	0,7		3,7	
23/05/2012	98	24	35	101	Humide	0,8	120	418	380	34,5	37	0	1,4	38,4	3,9	
27/06/2012	86	27	31	100	Sec	0	150	419	250	35,6	52,1	0	0	52,1	3,1	
01/08/2012	118	48	36	136	Sec	0,2	96	356	190	37,9	51,1	0		51,1	3	
26/09/2012	425	172	93	231	Pluie	6,6	77	254	140	10,8	29,3	0,1	9,2	38,6	1,9	
21/11/2012	146	59	64	66	Sec	0		506	210	30,1		0	0,5		1,2	
28/01/2013	435	176	99	217	Neige	0		265	220	13,9		0	4,7		0,5	
17/04/2013	39	16	19	48	Sec	0	150	569	240	32,8	53,5			53,5	12,4	
27/05/2013	104	42	32	137	Sec	0	82	355	130	37,4	54,3	0		54,3	4,3	
05/07/2013	131	53	23	76	Sec	0	49	202	110	31,8	42,7	0,1	5,1	47,9	1,7	
31/07/2013	101	41	36	102	Sec	0	120	415	170	39,5	58,2	0	0	58,2	4,3	
18/11/2013	147	60	45	133	Sec	0	109	360	160	30,6		0	1,3		3,3	
29/06/2015	119	48	68	0	Sec	0	363	665	268,5	45,6	53,67	0,12	0,37	54,2	8,3	
21/09/2015	89	36	66	79	Sec	0	400	863	254	31	67,44	0	0,5	67,9	5,79	
24/11/2015	104	42	26	76	Sec	0	100	287	80,5	43	56,1	0,09	0,4	56,6	5,33	
21/03/2016	128	51	29	62	Sec	0	143	266	19,1	27	46	0,13	0,4	46,5	6,71	
11/07/2016	180	72	85	60	Pluie	4,2	537	550	1408	23	73,96	0,3	13	87,3	28,2	
12/09/2016	100	40	52	75	Sec	0	542	606	362	20	71,9	0,1	0,5	72,5	6,94	
08/11/2016	116	46	38	28	Sec	0	97	386	249	37,5	37,54	0,188	0,8	38,5	4,44	
14/11/2016	136	55	37	175	Pluie la veille	0	120	302	130	20,5	39,4			39,4	4,06	
15/11/2016	131	53	33	216	Sec	0	110	291	100	25,5	41			41	4,29	
16/11/2016	157	64	46	99	Pluie	1,8	130	333	220	27	40,7			40,7	5,15	
17/11/2016	201	81	55	75	Pluie	1,8	120	301	170	22,2	40,7			40,7	4,43	
Moyenne	146	54	40	261		0,47	148,39	365,61	220,73	28,76	47,11	0,10	1,88	48,55	4,76	

Tableau 29 : Caractéristiques de l'effluent en entrée de STEU - Lutter

Date	Débit journalier (m ³ /j)	TCH	TCO	TD	Météo	Pluvio (mm)	En sortie du deuxième étage									
							DBO5 mg/l	DCO mg/l	MES mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	NK mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NGL mg/l	Pt mg/l	
30/06/2010	66	11	21	338	Sec	0	2	14	4	2,5	5,4	0,1	18,1	23,5	2,2	
12/08/2010	594	240	31	1300	Pluie la veille	0	3	20	4	3	6,3	0,1	7,9	14,3	1,2	
15/09/2010	59	24	2	1844	Sec	0	2	12	10	2,1	6,5	0	11,7	18,3	1,7	
02/11/2010	57	18	33	133	Sec	0	4	29	4	2,2	3,6	0	15,4	19	1,8	
15/12/2010	175	10	18	1196	Neige	0	9	48	9	2,9		0	14,7		0,5	
10/02/2011	67	27	17	179	Sec	0		11	2	1,4	4,6	0	23	27,7	1,5	
25/05/2011	64	10	13	265	Sec	0	8	58	9	2,5	4,3	0,1	26,7	31,1	3,9	
27/06/2011	168	49	67	82	Sec	0	12	81	25	5,6	10	0,9	11,7	22,6	3	
14/09/2011	70	3	7	600	Pluie la veille	0	3	24	12	1,8	5,7	0	19,4	25,2	2,7	
21/11/2011	108	44	34	131	Sec	0		40	6	1	3,8	0	18,5	22,4	2	
12/03/2012	92	37	19	240	Sec	0		51		2,6		0	27,1		2,2	
23/05/2012	98	24	35	101	Humide	0,8	4	22	2	1,9	3,9	0	31,8	35,7	2,2	
27/06/2012	86	27	31	100	Sec	0	6	43	3	1,5	5,9	0	19,3	25,3	2,1	
01/08/2012	118	48	36	136	Sec	0,2	4	36	4	2,9	7,5	0	48,2	55,7	2,1	
26/09/2012	425	172	93	231	Pluie	6,6	5	30	24	2,9	5,5	0	18,5	24,1	1,4	
21/11/2012	146	59	64	66	Sec	0		10		1,7		0	23		0,6	
28/01/2013	438	176	99	217	Neige	0		16	7	3,5		0	19		0,5	
17/04/2013	42	16	19	48	Sec	0	4	21	4	1,2	4,1	0	26	30,1	2,7	
27/05/2013	104	42	32	137	Sec	0	5	19	6	1,3	2,5	0,1	43,1	45,6	3,8	
05/07/2013	134	53	23	76	Sec	0	5	11	3	0,6	1,3	0,1	5,9	7,2	1,9	
31/07/2013	98	41	36	102	Sec	0	8	47	6	0,4	1,3	0	67,7	69	2,5	
18/11/2013	147	60	45	133	Sec	0	5	29	7	2,4		0,1	26,4		2	
29/06/2015	119	48	68	0	Sec	0	1	21	1,7	0,04	3,77	0,01	49	52,8	4,92	
21/09/2015	118	36	66	79	Sec	0	2	16	3,4	0,04	0,3	0	19,6	19,9	4,35	
24/11/2015	132	42	26	76	Sec	0	14	16	1,1	0,42	0,23	0,01	16	16,2	3,57	
21/03/2016	117	51	29	62	Sec	0	3,4	32	1,7	3,4	2,9	0,452	18,7	22,1	3,08	
11/07/2016	180	72	85	60	Pluie	4,2	172	150	288	2	5,14	0,5	36	41,6	3,45	
12/09/2016	103	40	52	75	Sec	0	6	15	8	0,2	3,7	0,003	38	41,7	4,4	
08/11/2016	158	46	38	28	Sec	0	1,1	16	18	0,16	1,35	0,014	12,1	13,5	3,8	
14/11/2016	136	55	37	175	Pluie la veille	0	3	9	8	0,5	1		28,4	28,4	4,12	
15/11/2016	131	53	33	216	Sec	0	3	15	3	0,5	1	0,02	29	29	3,21	
16/11/2016	157	64	46	99	Pluie	1,8	3	11	2	0,5	1	0,02	29,7	29,7	3,5	
17/11/2016	201	81	55	75	Pluie	1,8	3	11	2	0,5	2,1	0,02	25,7	27,8	3,27	
Moyenne	146	54	40	261		0,47	10,73	29,82	15,74	1,70	3,74	0,08	25,01	29,27	2,61	

Tableau 30 : Caractéristiques de l'effluent en sortie de STEU - Lutter

Date	En concentration							
	DBO5 %	DCO %	MES %	NH4 %	NK %	NO3 %	NGL %	Pt %
30/06/2010	98	96	97	85	81	-1193	21	27
12/08/2010	88	86	98	81	84	-618	64	8
15/09/2010	89	82	76	91	80	-1571	44	50
02/11/2010	97	96	99	93	93		65	44
15/12/2010	67	59	80	80		-308		62
10/02/2011		96	99	95	89	-3186	35	50
25/05/2011	90	75	84	94	92	-5240	44	25
27/06/2011	91	82	90	86	81	-1200	59	43
14/09/2011	85	80	69	93	82		20	10
21/11/2011		89	97	96	90	-2543	42	-25
12/03/2012		79	100	93		-3771		41
23/05/2012	97	95	99	94	89	-2171	7	44
27/06/2012	96	90	99	96	89		51	32
01/08/2012	96	90	98	92	85		-9	30
26/09/2012	94	88	83	73	81		38	26
21/11/2012		98	100	94		-4500		50
28/01/2013		94	97	75		-304		0
17/04/2013	97	96	98	96	92		44	78
27/05/2013	94	95	95	97	95		16	12
05/07/2013	90	95	97	98	97	-16	85	-12
31/07/2013	93	89	96	99	98		-19	42
18/11/2013	95	92	96	92		-1931		39
29/06/2015	100	97	99	100	93	-13143	3	41
21/09/2015	100	98	99	100	100	-3820	71	25
24/11/2015	86	94	99	99	100	-3900	71	33
21/03/2016	98	88	91	87	94	-4575	53	54
11/07/2016	68	73	80	91	93	-177	52	88
12/09/2016	99	98	98	99	95	-7500	42	37
08/11/2016	99	96	93	100	96	-1413	65	14
14/11/2016	98	97	94	98	97		28	-1
15/11/2016	97	95	97	98	98		29	25
16/11/2016	98	97	99	98	98		27	32
17/11/2016	98	96	99	98	95		32	26
Moyenne	93	90	94	93	91	-3004	39	32

Tableau 31 : Rendement épuratoire de la STEU calculé à partir des concentrations - Lutter

Date	Débit journalier (m ³ /j)	Météo	Pluvio (mm)	En flux de pollution							
				DBO5 %	DCO %	MES %	NH4 %	NK %	NO3 %	NGL %	Pt %
30/06/2010	66	11	21	98	96	97	85	81	-1193	21	27
12/08/2010	594	240	31	88	86	98	81	84	-618	64	8
15/09/2010	59	24	2	89	82	76	91	80	-1571	44	50
02/11/2010	57	18	33	97	96	99	93	93		65	44
15/12/2010	175	10	18	67	59	80	80		-308		62
10/02/2011	67	27	17		96	99	95	89	-3186	35	50
25/05/2011	64	10	13	90	75	84	94	92	-5240	44	25
27/06/2011	168	49	67	91	82	90	86	81	-1200	59	43
14/09/2011	70	3	7	85	80	69	93	82		20	10
21/11/2011	108	44	34		89	97	96	90	-2543	42	-25
12/03/2012	92	37	19		79	100	93		-3771		41
23/05/2012	98	24	35	97	95	99	94	89	-2171	7	44
27/06/2012	86	27	31	96	90	99	96	89		51	32
01/08/2012	118	48	36	96	90	98	92	85		-9	30
26/09/2012	425	172	93	94	88	83	73	81		38	26
21/11/2012	146	59	64		98	100	94		-4500		50
28/01/2013	435	176	99		94	97	75		-304		0
17/04/2013	39	16	19	97	96	98	96	92		44	78
27/05/2013	104	42	32	94	95	95	97	95		16	12
05/07/2013	131	53	23	90	95	97	98	97	-16	85	-12
31/07/2013	101	41	36	93	89	96	99	98		-19	42
18/11/2013	147	60	45	95	92	96	92		-1931		39
29/06/2015	119	48	68	100	97	99	100	93	-13143	3	41
21/09/2015	89	36	66	100	98	99	100	100	-3820	71	25
24/11/2015	104	42	26	86	94	99	99	100	-3900	71	33
21/03/2016	128	51	29	98	88	91	87	94	-4575	53	54
11/07/2016	180	72	85	68	73	80	91	93	-177	52	88
12/09/2016	100	40	52	99	98	98	99	95	-7500	42	37
08/11/2016	116	46	38	99	96	93	100	96	-1413	65	14
14/11/2016	136	55	37	98	97	94	98	97		28	-1
15/11/2016	131	53	33	97	95	97	98	98		29	25
16/11/2016	157	64	46	98	97	99	98	98		27	32
17/11/2016	201	81	55	98	96	99	98	95		32	26
Moyenne	146		40	93	90	94	93	91	-3004	39	32

Tableau 32 : Rendement épuratoire de la STEU calculé à partir des flux - Lutter

Rappel des exigences de fonctionnement attendues :

Paramètres	Rendements (%)	Concentration (mg/L)
DBO5	90	25
DCO	90	125
MES	85	35
NTK	75	10

Tableau 33 : Performances épuratoires demandées pour la STEU du SIA de Lutter - Raedersdorf

Le débit de référence de cette station est 450 m³/j. Les bilans pour lesquels $Q > Q_{ref}$ sont marqués en bleu.

ANNEXE 4 : Données de fonctionnement - ZRV de Lutter

Date	Débit journalier (m ³ /j)	TCH	TCO	TD	Météo	Pluie (mm)	En sortie de ZRV								
							DBO5 mg/l	DCO mg/l	MES mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	NK mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NGL mg/l	Pt mg/l
30/06/2010	60	11	21	338	Sec	0	2	23	6	2,8	6,2	0,4	13,6	20,1	1,3
12/08/2010	420	240	31	1300	Pluie la veille	0	3	12	4	2,8	5,9	0,2	4,1	10,2	1,1
15/09/2010	72	24	2	1844	Sec	0	2	10	2	2,5	5,7	0,1	11,1	16,8	1,2
02/11/2010	58	18	33	133	Sec	0	4	8	3	2,3	5,3	0,1	13,1	18,5	1,5
15/12/2010	165	10	18	1196	Neige	0	7	37	9	2,2		0,1	12,4		0,6
10/02/2011	41	27	17	179	Sec	0		10	3	1,1	2,9	0	26,2	29,1	1,2
25/05/2011	40	10	13	265	Sec	0	3	30	5	2,1	2,3	0,4	18,1	20,8	2,6
27/06/2011	150	49	67	82	Sec	0	4	38	9	4,8	10,5	0,6	15,4	26,5	1,8
14/09/2011	90	3	7	600	Pluie la veille	0	3	28	4	1,6	5,6	0,2	5	10,8	1,9
21/11/2011	100	44	34	131	Sec	0		9	4	2,9	4,3	0,2	20,3	24,8	2
12/03/2012	74	37	19	240	Sec	0		33		2,6		0	27,1		2
23/05/2012	98	24	35	101	Humide	0,8	4	16	2	2,1	3,6	0	21,6	25,2	1,6
27/06/2012	72	27	31	100	Sec	0	6	53	4	2,4	4,5	0,2	20	24,6	1,8
01/08/2012	119	48	36	136	Sec	0,2	6	48	3	1,6	5,3	0,3	53,4	58,9	1,7
26/09/2012	350	172	93	231	Pluie	6,6	5	38	7	2,3	3,5	0,1	23,2	26,8	1,8
21/11/2012	141	59	64	66	Sec	0		14		2,6		0,1	19,7		0,5
28/01/2013	436	176	99	217	Neige	0		10	10	3,4		0	20,8		0,5
17/04/2013	63	16	19	48	Sec	0	4	21	14	0,8	7,7	0,1	19	26,8	2
27/05/2013	93	42	32	137	Sec	0	5	34	15	0,4	4,5	0,1	44,6	49,2	2,6
05/07/2013	122	53	23	76	Sec	0	4	12	4	1,4	1,8	0,1	5,6	7,5	1,6
31/07/2013	93	41	36	102	Sec	0	4	29	2	1,3	4,9	1,7	31	37,6	2,4
18/11/2013	147	60	45	133	Sec	0	2	16	8	3,2		0,1	16,7		2,1
29/06/2015	221	48	68	0	Sec	0	4,2	26	5,5	0,24	2,74	0,7	33,0	36,4	4,46
21/09/2015	83	36	66	79	Sec	0	7	22	14,3	0,04	4,69	0,7	9,2	14,6	5,13
24/11/2015	104	42	26	76	Sec	0	15	17	7,4	0,56	0,67	0,5	12,0	13,2	3,29
21/03/2016	112	51	29	62	Sec	0	19,9	23	1	4,1	2,7	0,4	13,9	17,0	2,94
11/07/2016	141	72	85	60	Pluie	4,2	6	22	19	1,8	16,81	0,2	33,0	50,0	2,4
12/09/2016	79	40	52	75	Sec	0	11	19	6	0,4	2,9	0,0	26,0	28,9	3,84
08/11/2016	181	46	38	28	Sec	0	6,2	21	4	0,5	2,68	0,4	11,4	14,5	3,56
14/11/2016	154,2	55	37	175	Pluie la veille	0	3	14	17	0,7	1,5	0,51	19,7	21,7	3,58
15/11/2016	130,1	53	33	216	Sec	0	3	11	3	0,5	1,3	0,64	23,7	25,6	3,46
16/11/2016	170,1	64	46	99	Pluie	1,8	3	17	2	0,5	1	0,58	25,3	25,9	3,42
17/11/2016	176	81	55	75	Pluie	1,8	4	19	19	1	2	0,82	23,3	26,1	3,48
Moyenne	138,04	54	40	261		0,47	5,37	22,42	6,97	1,80	4,41	0,32	20,38	25,29	2,28

Tableau 34 : Caractéristiques et concentration de l'effluent en sortie de ZRV - Lutter

Date	En concentration							
	DBO5	DCO	MES	NH4	NK	NO3	NGL	Pt
30/06/2010	0	-64	0	0	0	25	14	41
12/08/2010	0	40	0	0	0	48	29	0
15/09/2010	0	0	80	0	0	0	0	29
02/11/2010	0	72	0	0	-47	15	0	17
15/12/2010	0	0	0	24		16		-20
10/02/2011		0	0	21	37	-14	0	20
25/05/2011	63	48	44	0	47	32	33	33
27/06/2011	67	53	64	0	0	-32	-17	40
14/09/2011	0	0	67	0	0	74	57	30
21/11/2011		78	0	-190	0	0	0	0
12/03/2012		35	0	0	0	0	0	0
23/05/2012	0	27	0	0	0	32	29	27
27/06/2012	0	0	0	-60	24	0	0	14
01/08/2012	0	0	0	45	29	0	0	19
26/09/2012	0	0	71	21	36	-25	0	-29
21/11/2012		-40		-53		14		17
28/01/2013		38	0	0	0	0	0	0
17/04/2013	0	0	-250	33	-88	27	0	26
27/05/2013	0	-79	-150	69	-80	0	0	32
05/07/2013	0	0	0	-133	-38	0	0	16
31/07/2013	50	38	67	-225	-277	54	46	0
18/11/2013	60	45	0	-33		37		0
29/06/2015	-320	0	-224	-500	27	33	31	0
21/09/2015	-250	-38	-321	0	-1463	53	27	-18
24/11/2015	0	0	-573	-33	-191	25	19	0
21/03/2016	-485	28	41	0	0	26	23	0
11/07/2016	97	85	93	0	-227	0	-20	30
12/09/2016	-83	0	0	-100	22	32	31	13
08/11/2016	-464	0	78	-213	-99	0		0
14/11/2016	0	-56	-113	-40	-50	31		13
15/11/2016	0	27	0	0	-30	18	12	0
16/11/2016	0	-55	0	0	0	15	13	0
17/11/2016	0	-73	-850	-100	0	0	0	0
Moyenne	-45	6	-60	-44	-85	16	13	11

Tableau 35 : Rendement épuratoire de la ZRV calculé à partir des concentrations – Lutter

Date	Débit entrée (m³/j)	Débit sortie (m³/j)	En flux de pollution							
			DBO5 %	DCO %	MES %	NH4 %	NK %	NO3 %	NGL %	Pt %
30/06/2010	66	60	0	-49	0	0	0	32	22	46
12/08/2010	594	420	0	58	0	0	0	63	50	0
15/09/2010	59	72	0	0	76	0	0	0	0	14
02/11/2010	57	58	0	72	0	0	-50	13	0	15
15/12/2010	175	165	0	0	0	28		20		-13
10/02/2011	67	41		0	0	52	61	30	0	51
25/05/2011	64	40	77	68	65	0	67	58	58	58
27/06/2011	168	150	70	58	68	0	0	-18	-5	46
14/09/2011	70	90	0	0	57	0	0	67	45	10
21/11/2011	108	100		79	0	-169	0	0	0	0
12/03/2012	92	74		48	0	0	0	0	0	0
23/05/2012	98	98	0	27	0	0	0	32	29	27
27/06/2012	86	72	0	0	0	-34	36	0	0	28
01/08/2012	118	119	0	0	0	44	29	0	0	18
26/09/2012	425	350	0	0	76	35	48	-3	0	-6
21/11/2012	146	141		-35		-48		17		20
28/01/2013	438	436		37	0	0	0	0	0	0
17/04/2013	42	63	0	0	-465	-8	-203	-18	0	-20
27/05/2013	104	93	0	-60	-124	72	-61	0	0	39
05/07/2013	134	122	0	0	0	-117	-29	0	0	22
31/07/2013	98	93	54	43	69	-199	-247	58	50	0
18/11/2013	147	147	60	45	0	-33		37		0
29/06/2015	119	221	-676	0	-498	-1009	-34	-25	-27	0
21/09/2015	118	83	-227	-28	-292	0	-1359	56	32	-10
24/11/2015	132	104	0	0	-572	-33	-191	25	19	0
21/03/2016	117	112	-415	37	48	0	0	35	32	0
11/07/2016	180	141	97	88	95	0	-157	0	6	45
12/09/2016	103	79	-45	0	0	-58	38	46	45	31
08/11/2016	158	181	-779	0	65	-387	-209	0		0
14/11/2016	136	154	0	-76	-141	-59	-70	21		1
15/11/2016	131	130	0	27	0	0	-29	19	12	0
16/11/2016	157	170	0	-67	0	0	0	8	6	0
17/11/2016	201	176	0	-51	-732	-75	0	0	0	0
Moyenne	149	138	-64	10	-71	-61	-84	17	14	13

Tableau 36 : Rendement épuratoire de la ZRV calculé à partir des flux de pollution – Lutter

ANNEXE 5 : Données de fonctionnement - STEU de Liebsdorf

Date	Débit journalier (m ³ /j)	TCH	TCO	TD	Météo	Pluvio (mm)	En entrée de station								
							DBO5 mg/l	DCO mg/l	MES mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	NK mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NGL mg/l	Pt mg/l
04/11/2009	119	29	124	695	Pluie	1,3	44	126	50	17,8	26,3	0,3	2,3	28,9	2,6
04/02/2010	150	8	43	3435	Pluie	7,5	10	49	45	4,7		0,1	2,7	7,5	0,6
19/05/2010	218	17	21	2400	Pluie	6,5	14	83	46	10,2	16,4	0,2	2,5	19,1	1,2
05/07/2010	131	20	52	1150	Sec	0	28	123	86	17,5	25,3	0	0	25,3	2,9
20/09/2010	90	21	46	714	Sec	0	43	153	88	20	30,4	0,1	0,5	31	3,4
18/10/2010	107	21	39	900	Sec	0	35	163	47	19	23	0,3	1,6	24,9	2,7
08/02/2011	139	145	42	685	Sec	0		107	56	15,8	18,2	0,1	2	20,4	1,8
23/05/2011	59	20	87	267	Sec	0	62	229	120	31,3	42,5	0	0,5	43	3
22/06/2011	194	29	75	594	Orage	8,1	27	121	140	15,5	22,8	0,6	0,7	24,1	2,3
25/07/2011	88	33	70	322	Sec	0	67	199	83	20,5	29,3	0,1	0,9	30,3	2,8
12/09/2011	53	26	83	256	Humide	0,2	88	236	71	29	37,5	0	0,5	38	4,3
23/11/2011	41	43	62	58	Sec	0		533	260	45,4	62,4	0,2	0,5	63	4,2
14/02/2012	137	29	57	475	Neige	0,5	38	146	78	17,4		0,9	0,5		1,5
21/05/2012	316	69	133	471	Orage	7,9	39	147	82	12,2	18,7	0,4	2,3	21,3	2,1
25/06/2012	200	14	39	1117	Pluie	1,5	13	69	41	7,9	13,7	0,1	6,2	20,1	1,7
30/07/2012	73	76	50	251	Sec	0	61	239	160	28,6	38,8	0	0	38,8	2,6
24/09/2012	250	261	50	1100	Pluie la veille	0	19	70	35	9,1	13,9	0,1	15,5	29,5	1,2
19/11/2012	163	169	49	700	Couvert	0		105	62	15,5		0,1	2,5		0,6
30/01/2013	611	637	87	1580	Pluie	6,3		50	40	2,8		0	7		0,1
10/04/2013	351	366	72	1067	Pluie	1,9	14	72	40	7,7	9	0,1	7	16,1	1,2
26/06/2013	71	74	48	254	Sec	0	66	237	100	25,2	38,4	0,1	6,3	44,7	3,1
22/07/2013	47	49	34	233	Sec	0	70	252	76	35,3	46,7	0	0	46,7	4,2
11/09/2013	119	124	72	294	Pluie la veille	1	56	213	110	18,7	26,1	0,1	6,7	32,8	2
20/11/2013	384	400	71	1192	Neige	2,4	13	65	46	1,9		0	6,2		0,3
14/11/2016	136	210	115	373	Pluie la veille	0	120	257	140	9,7	16			16	2,57
15/11/2016	131	176	37	434	Sec	0	45	121	57	12,1	18,3			18,3	1,87
16/11/2016	157	193	50	271	Pluie	1,8	57	171	100	14,1	20,9			20,9	2,47
17/11/2016	201	214	83	301	Pluie	1,8	85	169	88	12,1	19,8			19,8	2,43
Moyenne	169	124	64	771		1,74	46,42	160,89	83,82	17,04	26,71	0,16	3,12	28,35	2,21

Date	Débit journalier (m ³ /j)	TCH	TCO	TD	Météo	Pluvio (mm)	En sortie du deuxième étage								
							DBO5 mg/l	DCO mg/l	MES mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	NK mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NGL mg/l	Pt mg/l
04/11/2009	119	29	124	695	Pluie	1,3	10	58	27	9	16,1	0,4	5,9	22,4	2,4
04/02/2010	150	8	43	3435	Pluie	7,5	1	9	3	2,2		0	7,2	9,5	0,5
19/05/2010	218	17	21	2400	Pluie	6,5	6	47	3	2,2	5,2	0,1	11,3	16,6	0,9
05/07/2010	131	20	52	1150	Sec	0	5	41	3	3,1	5,8	0,2	17,6	23,6	2
20/09/2010	90	21	46	714	Sec	0	7	47	6	4,8	8	0,4	9,9	18,3	2,2
18/10/2010	107	21	39	900	Sec	0	6	44	3	2,2	8,4	0,1	15,1	23,6	1,6
08/02/2011	139	145	42	685	Sec	0		18	2	6	8,5	0,2	13,3	22,1	1,1
23/05/2011	59	20	87	267	Sec	0	5	30	6	1,9	3,4	0,2	18,1	21,7	2,6
22/06/2011	194	29	75	594	Orage	8,1	3	30	17	3,2	7,1	0,5	21,7	29,8	5,2
25/07/2011	88	33	70	322	Sec	0	7	60	6	2,8	5,1	0,1	13,3	18,5	1,9
12/09/2011	53	26	83	256	Humide	0,2	4	40	9	2,4	6,1	0,1	17,2	23,4	3,2
23/11/2011	41	43	62	58	Sec	0		54	7	4,3	7,4	0,3	0,5	8,1	3,6
14/02/2012	137	29	57	475	Neige	0,5	5	5	4	8,3		0,2	10,2		1,4
21/05/2012	316	69	133	471	Orage	7,9	5	31	5	1,8	4,3	0,3	22	26,6	0,8
25/06/2012	200	14	39	1117	Pluie	1,5	4	16	4	2,1	5	0	17,3	22,3	1,2
30/07/2012	73	76	50	251	Sec	0	3	9	5	1,8	5,6	0	19,1	24,7	2,3
24/09/2012	250	261	50	1100	Pluie la veille	0	4	39	5	1,8	4,9	0	12,9	17,9	1,2
19/11/2012	163	169	49	700	Couvert	0		43	9	4,7		0,1	7,7		0,4
30/01/2013	611	637	87	1580	Pluie	6,3		24	6	2,5		0	9,7		0,2
10/04/2013	351	366	72	1067	Pluie	1,9	3	32	4	0,8	0,9	0	19,9	20,8	0,7
26/06/2013	71	74	48	254	Sec	0	5	38	5	0,8	2,7	0	31,2	33,9	2,3
22/07/2013	47	49	34	233	Sec	0	19	84	7	1,3	3,1	0,1	48,3	51,4	3,2
11/09/2013	119	124	72	294	Pluie la veille	1	3	18	5	0,9	4,8	0	37,3	42,2	2,1
20/11/2013	384	400	71	1192	Neige	2,4	8	43	3	0,4		0	10		0,4
14/11/2016	136	210	115	373	Pluie la veille	0	3	17	4	0,6	1	0,04	15,8	15,84	2,2
15/11/2016	131	176	37	434	Sec	0	3	13	2	0,5	1,1	0,05	14,2	15,35	1,8
16/11/2016	157	193	50	271	Pluie	1,8	3	15	3	0,7	1	0,07	14	14,07	1,86
17/11/2016	201	214	83	301	Pluie	1,8	3	11	2	0,5	1	0,09	13,9	13,99	1,84
Moyenne	169	124	64	771		1,74	5,21	32,71	5,89	2,63	5,07	0,13	16,24	22,36	1,83

Tableau 37 : Caractéristiques de l'effluent en sortie de STEU - Liebsdorf

Date	Débit journalier (m ³ /j)	Météo	Pluvio (mm)	En flux de pollution							
				DBO5 %	DCO %	MES %	NH4 %	NK %	NO3 %	NGL %	Pt %
04/11/2009	119	29	124	77	54	46	49	39	-157	22	8
04/02/2010	150	8	43	90	82	93	53		-167	-27	17
19/05/2010	218	17	21	57	43	93	78	68	-352	13	25
05/07/2010	131	20	52	82	67	97	82	77		7	31
20/09/2010	90	21	46	84	69	93	76	74	-1880	41	35
18/10/2010	107	21	39	83	73	94	88	63	-844	5	41
08/02/2011	139	145	42		83	96	62	53	-565	-8	39
23/05/2011	59	20	87	92	87	95	94	92	-3520	50	13
22/06/2011	194	29	75	89	75	88	79	69	-3000	-24	-126
25/07/2011	88	33	70	90	70	93	86	83		39	32
12/09/2011	53	26	83	95	83	87	92	84	-3340	38	26
23/11/2011	41	43	62		90	97	91	88	0	87	14
14/02/2012	137	29	57	87	97	95	52		-1940		7
21/05/2012	316	69	133	87	79	94	85	77		-25	62
25/06/2012	200	14	39	69	77	90	73	64	-179	-11	29
30/07/2012	73	76	50	95	96	97	94	86		36	12
24/09/2012	250	261	50	79	44	86	80	65	17	39	0
19/11/2012	163	169	49		59	85	70		-208		33
30/01/2013	611	637	87		52	85	11		-39		-100
10/04/2013	351	366	72	79	56	90	90	90	-184	-29	42
26/06/2013	71	74	48	92	84	95	97	93	-395	24	26
22/07/2013	47	49	34	73	67	91	96	93		-10	24
11/09/2013	119	124	72	95	92	95	95	82	-457	-29	-5
20/11/2013	384	400	71	38	34	93	79		-61		-33
14/11/2016	136	210	115	98	93	97	94	94		1	14
15/11/2016	131	176	37	93	89	96	96	94		16	4
16/11/2016	157	193	50	95	91	97	95	95		33	25
17/11/2016	201	214	83	96	93	98	96	95		29	24
Moyenne	169		64	84	74	91	80	79	-909	13	11

Tableau 39 : Rendement épuratoire de la STEU calculé à partir des flux – Liebsdorf

Date	En concentration								
	DBO5 %	DCO %	MES %	NH4 %	NK %	NO3 %	NGL %	Pt %	
04/11/2009	77	54	46	49	39	-157	22	8	
04/02/2010	90	82	93	53		-167	-27	17	
19/05/2010	57	43	93	78	68	-352	13	25	
05/07/2010	82	67	97	82	77		7	31	
20/09/2010	84	69	93	76	74	-1880	41	35	
18/10/2010	83	73	94	88	63	-844	5	41	
08/02/2011		83	96	62	53	-565	-8	39	
23/05/2011	92	87	95	94	92	-3520	50	13	
22/06/2011	89	75	88	79	69	-3000	-24	-126	
25/07/2011	90	70	93	86	83		39	32	
12/09/2011	95	83	87	92	84	-3340	38	26	
23/11/2011		90	97	91	88	0	87	14	
14/02/2012	87	97	95	52		-1940		7	
21/05/2012	87	79	94	85	77		-25	62	
25/06/2012	69	77	90	73	64	-179	-11	29	
30/07/2012	95	96	97	94	86		36	12	
24/09/2012	79	44	86	80	65	17	39	0	
19/11/2012		59	85	70		-208		33	
30/01/2013		52	85	11		-39		-100	
10/04/2013	79	56	90	90	90	-184	-29	42	
26/06/2013	92	84	95	97	93	-395	24	26	
22/07/2013	73	67	91	96	93		-10	24	
11/09/2013	95	92	95	95	82	-457	-29	-5	
20/11/2013	38	34	93	79		-61		-33	
14/11/2016	98	93	97	94	94		1	14	
15/11/2016	93	89	96	96	94		16	4	
16/11/2016	95	91	97	95	95		33	25	
17/11/2016	96	93	98	96	95		29	24	
Moyenne	84	74	91	80	79	-909	13	11	

Tableau 38 : Rendement épuratoire de la STEU calculé à partir des concentrations – Liebsdorf

Rappel des exigences de fonctionnement attendues :

Condition	MES	DBO5	DCO	NH4
Temps sec Débit inférieur à 96 m ³ /j	95 % et 30 mg/l	90 % et 25 mg/l	80 % et 100 mg/l	Mai à septembre : 95 % et 5 mg/l Reste de l'année : 50%
Temps de pluie Débit compris entre 96 et 201 m ³ /j	95 % ou 30 mg/l	90 % ou 25 mg/l	80 % ou 100 mg/l	Mai à septembre : 95 % ou 5 mg/l Reste de l'année : 50%

Tableau 40 : Performances épuratoires demandées pour la STEU de Liebsdorf

Le débit de référence de cette station est 201 m³/j. Les bilans pour lesquels $Q > Q_{ref}$ sont marqués en bleu.

ANNEXE 6 : Données de fonctionnement - ZRV de Liebsdorf

Date	Débit journalier (m³/j)	TCH	TCO	TD	Météo	Pluvio (mm)	En sortie de ZRV								
							DBO5 mg/l	DCO mg/l	MES mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	NK mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NGL mg/l	Pt mg/l
04/11/2009	141	29	124	695	Pluie	1,3	4	34	10	7,6	12	0,4	5,2	17,6	1,8
04/02/2010	152	8	43	3435	Pluie	7,5	1	8	2	1,1		0	7	8,1	1,2
19/05/2010	243	17	21	2400	Pluie	6,5	4	4	2	1,5	4,7	0,1	9	13,9	0,8
05/07/2010	137	20	52	1150	Sec	0	4	26	4	1,7	5,9	0,2	14	20,1	1,8
20/09/2010	92	21	46	714	Sec	0	3	37	6	3,8	9,2	0,4	14,5	24,1	1,8
18/10/2010	111	21	39	900	Sec	0	3	28	2	3,1	4,6	0,1	13,3	18	1,4
08/02/2011	132	145	42	685	Sec	0		20	2	4,3	5,5	0,3	12,9	18,6	1,3
23/05/2011	54	20	87	267	Sec	0	5	8	4	2,1	5,4	0,1	13,6	19,1	2,1
22/06/2011	195	29	75	594	Orage	8,1	3	13	6	1,6	4,4	0,2	15,1	19,8	2,7
25/07/2011	87	33	70	322	Sec	0	4	39	5	1,9	2,9	0,1	11,5	14,5	1,8
12/09/2011	54	26	83	256	Humide	0,2	4	35	7	1,7	4	0,1	12,7	16,7	3
23/11/2011	50	43	62	58	Sec	0		41	3	2,1	3,2	0,5	0,5	4,2	3,3
14/02/2012	149	29	57	475	Neige	0,5	5	9	2	6,3		0,2	11,7		1,3
21/05/2012	325	69	133	471	Orage	7,9	4	8	4	1,5	7,1	0,3	11,8	19,2	0,6
25/06/2012	227	14	39	1117	Pluie	1,5	5	17	3	2,6	5,2	0	7,4	12,7	1,3
30/07/2012	73	76	50	251	Sec	0	3	23	4	2,2	4	0	20,2	24,2	2
24/09/2012	291	261	50	1100	Pluie la veille	0	9	44	4	1,8	4,3	0	11,8	16,1	1,1
19/11/2012	177	169	49	700	Couvert	0		20	2	3,9		0,1	9		0,4
30/01/2013	577	637	87	1580	Pluie	6,3		22	3	1		0	9,7		0,1
10/04/2013	349	366	72	1067	Pluie	1,9	4	34	3	0,4	0,7	0	16,7	17,4	0,5
26/06/2013	82	74	48	254	Sec	0	3	25	5	0,7	3,4	0,1	24	27,5	3,5
22/07/2013	50	49	34	233	Sec	0	5	42	8	0,7	1,1	0,1	29,6	30,8	2,6
11/09/2013	114	124	72	294	Pluie la veille	1	1	7	6	0,7	3	0	34,8	37,9	1,9
20/11/2013	463	400	71	1192	Neige	2,4	10	50	7	0,9		0	10,2	0	0,4
14/11/2016	124	210	115	373	Pluie la veille	0	3	13	3	0,5	1	0,09	12,9	13	1,87
15/11/2016	108	176	37	434	Sec	0	3	11	4			0,12	12,4	12,5	1,58
16/11/2016	133	193	50	271	Pluie	1,8	3	14	3	0,8	1	0,14	12,3	12,4	1,58
17/11/2016	159	214	83	301	Pluie	1,8	3	12	2	0,5	1	0,15	11,2	11,4	1,64
Moyenne	173,18	124	64	771		1,74	4,00	23,00	4,14	2,11	4,25	0,14	13,39	17,19	1,62

Tableau 41 : Caractéristiques et concentration de l'effluent en sortie de ZRV – Liebsdorf

Date	En concentration							
	DBO5	DCO	MES	NH4	NK	NO3	NGL	Pt
04/11/2009	60	41	63	0	25	12	21	25
04/02/2010	0	0	0	50		0		-140
19/05/2010	0	91	0	32	0	20	16	0
05/07/2010	0	37	0	45	0	20	15	0
20/09/2010	57	0	0	21	0	-46	-32	18
18/10/2010	50	36	0	-41	45	12	24	13
08/02/2011		0	0	28	35	0	16	-18
23/05/2011	0	73	0	0	-59	25	0	19
22/06/2011	0	57	65	50	38	30	34	48
25/07/2011	43	35	0	32	43	14	22	0
12/09/2011	0	0	0	29	34	26	29	0
23/11/2011		0	57	51	57	0	48	0
14/02/2012	0	-80	50	24		-15		0
21/05/2012	0	74	0	0	-65	46	28	25
25/06/2012	0	0	0	-24	0	57	43	0
30/07/2012	0	-156	0	-22	29	0	0	13
24/09/2012	-125	0	0	0	0	0	0	0
19/11/2012		53	78	0		-17		0
30/01/2013		0	50	60		0		50
10/04/2013	0	0	0	50	22	16	16	29
26/06/2013	40	34	0	0	-26	23	19	-52
22/07/2013	74	50	0	46	65	39	40	19
11/09/2013	67	61	0	22	38	0	0	0
20/11/2013	0	0	-133	-125		0		0
14/11/2016	0	0	0	0		18	18	15
15/11/2016	0	0	-100			13		12
16/11/2016	0	0	0	0		12	0	15
17/11/2016	0	0	0	0		19	19	0
Moyenne	11	15	5	12	13	12	17	3

Tableau 43 : Rendement épuratoire de la ZRV calculé à partir des concentrations – Liebsdorf

Date	Débit entrée (m³/j)	Débit sortie (m³/j)	En flux de pollution							
			DBO5 %	DCO %	MES %	NH4 %	NK %	NO3 %	NGL %	Pt %
04/11/2009	119	141	53	31	56	0	12	-4	7	11
04/02/2010	150	152	0	0	0	49		0		-143
19/05/2010	218	243	0	91	0	24	0	11	7	0
05/07/2010	131	137	0	34	0	43	0	17	11	0
20/09/2010	90	92	56	0	0	19	0	-50	-35	16
18/10/2010	107	111	48	34	0	-46	43	9	21	9
08/02/2011	139	132		0	0	32	39	0	20	-12
23/05/2011	59	54	0	76	0	0	-45	31	0	26
22/06/2011	194	195	0	56	65	50	38	30	33	48
25/07/2011	88	87	44	36	0	33	44	15	23	0
12/09/2011	53	54	0	0	0	28	33	25	27	0
23/11/2011	41	50		0	48	40	47	0	37	0
14/02/2012	137	149	0	-96	46	17		-25		0
21/05/2012	316	325	0	73	0	0	-70	45	26	23
25/06/2012	200	227	0	0	0	-41	0	51	35	0
30/07/2012	73	73	0	-156	0	-22	29	0	0	13
24/09/2012	250	291	-162	0	0	0	0	0	0	0
19/11/2012	163	177		49	76	0		-27		0
30/01/2013	611	577		0	53	62		0		53
10/04/2013	351	349	0	0	0	50	23	17	17	29
26/06/2013	71	82	31	24	0	0	-45	11	6	-76
22/07/2013	47	50	72	47	0	43	62	35	36	14
11/09/2013	119	114	68	63	0	25	40	0	0	0
20/11/2013	384	463	0	0	-181	-171		0		0
14/11/2016	136	124	0	0	0	0	0	26	25	23
15/11/2016	131	108	0	0	-65			28		28
16/11/2016	157	133	0	0	0	0	0	26	0	28
17/11/2016	201	159	0	0	0	0	0	36	36	0
Moyenne	169	173	9	13	3	9	11	11	15	3

Tableau 42 : Rendement épuratoire de la ZRV calculé à partir des flux de pollution – Liebsdorf

ANNEXE 7 : Données de fonctionnement - STEU de Wahlbach

Date	Débit journalier (m³/j)	TCH	TCO	TD	Météo	Pluvio (mm)	En entrée de station								
							DBO5 mg/l	DCO mg/l	MES mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	NK mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NGL mg/l	Pt mg/l
16/02/2011	233	81	36	513	Pluie la veille	0		137	20	8,9	21,8	0,4	2,5	24,7	0,8
07/06/2011	499	173	217	119	Orage	14,4	100	383	430	25,7	39,6	0	0,7	40,3	2,9
04/07/2011	104	36	26	287	Sec	0	52	217	130	28,9	39	0	0,5	39,5	4,3
01/08/2011	101	35	20	383	Sec	0	29	174	94	31	41,4	0	0,5	41,9	5
21/09/2011	100	35	26	268	Sec	0	74	228	110	30,6	43,4	0	0,7	44,1	4,3
28/11/2011	94	33	41	119	Sec	0		384	220	30,4	47,3	0	0,9	48,2	3
22/02/2012	294	102	42	567	Humide	0,1		126	60	12,5		0,4	2,5		1,4
14/05/2012	314	109	39	664	Sec	0	39	110	87	12	17,7	0,4	5,7	23,8	2,1
20/06/2012	346	120	30	1020	Humide	0,3	17	75	49	10,7	16,5	0,1	11,9	28,5	1,8
25/07/2012	173	60	173		Sec	0	250	877	480	22,8	31,4	0	0	31,4	3,4
03/10/2012	210	73	64	211	Pluie la veille	0	57	270	190	20,4	34,5	0	0	34,5	2,3
03/12/2012	1200	417	89	1192	Pluie	10,7		65	55	4,5		0,1	6,3		0,4
19/03/2013	728	253	60	1067	Pluie	0,5		72	32	5,5		0	8,6		0,5
23/05/2013	785	272	94	700	Pluie	0,8	18	105	60	6	12,2	0,1	15,3	27,7	1,3
Moyenne	370	129	68	547		1,91	70,67	230,21	144,07	17,85	31,35	0,11	4,01	34,96	2,39

Tableau 44 : Caractéristiques de l'effluent en entrée de STEU - Wahlbach

Date	Débit journalier (m³/j)	TCH	TCO	TD	Météo	Pluvio (mm)	En sortie du deuxième étage								
							DBO5 mg/l	DCO mg/l	MES mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	NK mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NGL mg/l	Pt mg/l
16/02/2011	233	81	36	513	Pluie la veille	0		10	5	2,8	4,3	0,2	9,7	14,2	0,5
07/06/2011	499	173	217	119	Orage	14,4	41	174	300	5,6	11,6	0,5	7,9	20	2,1
04/07/2011	104	36	26	287	Sec	0	4	35	11	1,2	4	0,4	16,3	20,7	3,2
01/08/2011	101	35	20	383	Sec	0	2	33	7	3,1	4,7	0,1	17,6	22,4	3
21/09/2011	100	35	26	268	Sec	0	4	47	6	1,9	5	0,2	21,2	26,4	2,7
28/11/2011	94	33	41	119	Sec	0		53	6	2,5	5,6	0,1	22,1	27,8	2,3
22/02/2012	294	102	42	567	Humide	0,1		33	5	1		0,1	15,4		1,2
14/05/2012	314	109	39	664	Sec	0	6	28	6	2,6	5,2	0,1	27,2	32,5	1,8
20/06/2012	346	120	30	1020	Humide	0,3	4	21	6	2,3	6,3	0,1	17,8	24,2	1,7
25/07/2012	173	60	173		Sec	0	4	30	8	1,9	4,5	0	12,9	17,4	2,8
03/10/2012	210	73	64	211	Pluie la veille	0	5	33	7	3,5	5,6	0	35,3	40,9	2,2
03/12/2012	1200	417	89	1192	Pluie	10,7		16	12	1,9		0,1	8,1		0,1
19/03/2013	728	253	60	1067	Pluie	0,5		10	4	2,6		0	11,5		0,9
23/05/2013	785	272	94	700	Pluie	0,8	5	18	7	0,8	1	0,1	25,7	26,8	1,3
Moyenne	370	129	68	547		1,91	8,33	38,64	27,86	2,41	5,25	0,14	17,76	24,85	1,84

Tableau 45 : Caractéristiques de l'effluent en sortie de STEU - Wahlbach

Date	En concentration							
	DBO5 %	DCO %	MES %	NH4 %	NK %	NO3 %	NGL %	Pt %
16/02/2011		93	75	69	80	-288	43	38
07/06/2011	59	55	30	78	71	-1029	50	28
04/07/2011	92	84	92	96	90	-3160	48	26
01/08/2011	93	81	93	90	89	-3420	47	40
21/09/2011	95	79	95	94	88	-2929	40	37
28/11/2011		86	97	92	88	-2356	42	23
22/02/2012		74	92	92		-516		14
14/05/2012	85	75	93	78	71	-377	-37	14
20/06/2012	76	72	88	79	62	-50	15	6
25/07/2012	98	97	98	92	86		45	18
03/10/2012	91	88	96	83	84		-19	4
03/12/2012		75	78	58		-29		75
19/03/2013		86	88	53		-34		-80
23/05/2013	72	83	88	87	92	-68	3	0
Moyenne	85	80	86	81	82	-1188	25	17

Tableau 46 : Rendement épuratoire de la STEU calculé à partir des concentrations – Wahlbach

Date	Débit journalier (m ³ /j)	Météo	Pluvio (mm)	En flux de pollution							
				DBO5 %	DCO %	MES %	NH4 %	NK %	NO3 %	NGL %	Pt %
16/02/2011	233	Pluie la veille	36		93	75	69	80	-288	43	38
07/06/2011	499	Orage	217	59	55	30	78	71	-1029	50	28
04/07/2011	104	Sec	26	92	84	92	96	90	-3160	48	26
01/08/2011	101	Sec	20	93	81	93	90	89	-3420	47	40
21/09/2011	100	Sec	26	95	79	95	94	88	-2929	40	37
28/11/2011	94	Sec	41		86	97	92	88	-2356	42	23
22/02/2012	294	Humide	42		74	92	92		-516		14
14/05/2012	314	Sec	39	85	75	93	78	71	-377	-37	14
20/06/2012	346	Humide	30	76	72	88	79	62	-50	15	6
25/07/2012	173	Sec	173	98	97	98	92	86		45	18
03/10/2012	210	Pluie la veille	64	91	88	96	83	84		-19	4
03/12/2012	1200	Pluie	89		75	78	58		-29		75
19/03/2013	728	Pluie	60		86	88	53		-34		-80
23/05/2013	785	Pluie	94	72	83	88	87	92	-68	3	0
Moyenne	370		68	85	80	86	81	82	-1188	25	17

Tableau 47 : Rendement épuratoire de la STEU calculé à partir des flux – Wahlbach

Rappel des exigences de fonctionnement attendues :

Condition	MES	DBO5	DCO	NH4
Temps sec Débit inférieur à 288 m ³ /j	20 mg/l	90 % et 20 mg/l	80 % et 80 mg/l	5 mg/l
Temps de pluie Débit compris entre 288 et 336 m ³ /j	20 mg/l	90 % ou 20 mg/l	80 % ou 80 mg/l	5 mg/l

Tableau 48 : Performances épuratoires demandées pour la STEU de Wahlbach

Le débit de référence de cette station est 288 m³/j. Les bilans pour lesquels Q>Q_{ref} sont marqués en bleu.

ANNEXE 8 : Données de fonctionnement - ZRV de Wahlbach

Date	Débit journalier (m ³ /j)	TCH	TCO	TD	Météo	Pluvio (mm)	En sortie de ZRV								
							DBO5 mg/l	DCO mg/l	MES mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	NK mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NGL mg/l	Pt mg/l
16/02/2011	221	81	36	513	Pluie la veille	0		8	5	2,8	6,1	0,2	8,8	15,1	0,6
07/06/2011	531	173	217	119	Orage	14,4	3	33	19	5,6	9	0,4	5,2	14,6	1,9
04/07/2011	115	36	26	287	Sec	0	4	20	11	1,2	5,5	0,4	8,4	14,3	2,7
01/08/2011	105	35	20	383	Sec	0	2	11	6	4	5,1	0,3	14,9	20,3	2,5
21/09/2011	97	35	26	268	Sec	0	4	56	4	2,2	2,7	0,5	18,5	21,8	3
28/11/2011	100	33	41	119	Sec	0		24	4	1,8	3,2	0,3	20,3	23,9	2,5
22/02/2012	275	102	42	567	Humide	0,1		22	4	1,7		0,1	13,3		1,3
14/05/2012	311	109	39	664	Sec	0	5	24	4	2	5,2	0,2	17,5	22,9	1,6
20/06/2012	384	120	30	1020	Humide	0,3	4	28	8	2,4	4,6	0,1	18,6	23,3	1,4
25/07/2012	180	60	173		Sec	0	3	13	8	2,6	3,9	0,1	9	12,9	1,9
03/10/2012	196	73	64	211	Pluie la veille	0	4	24	18	3,1	4,8	0,1	28	32,9	1,9
03/12/2012	1078	417	89	1192	Pluie	10,7		16	12	1,9		0,1	8,1		0,2
19/03/2013	727	253	60	1067	Pluie	0,5		17	11	2,8		0	12		0,8
23/05/2013	788	272	94	700	Pluie	0,8	4	31	15	0,9	1,1	0,1	29,2	30,4	1,2
Moyenne	364,86	129	68	547		1,91	3,67	23,36	9,21	2,50	4,65	0,21	15,13	21,13	1,68

Tableau 49 : Caractéristiques et concentration de l'effluent en sortie de ZRV – Wahlbach

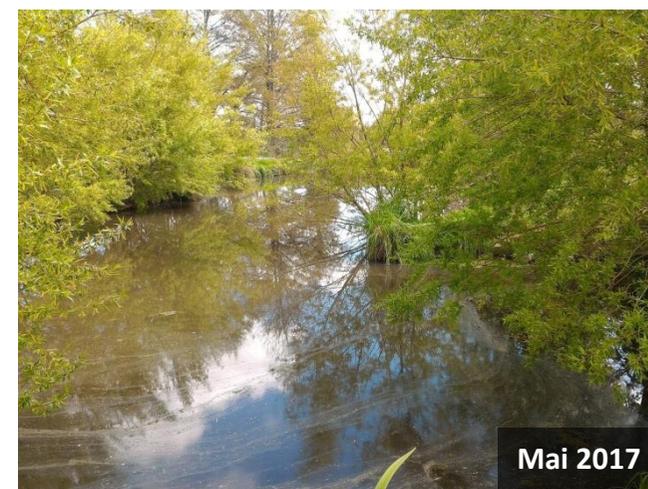
Date	En concentration							
	DBO5	DCO	MES	NH4	NK	NO3	NGL	Pt
16/02/2011		0	0	0	-42	0	0	-20
07/06/2011	93	81	94	0	22	34	27	0
04/07/2011	0	43	0	0	-38	48	31	16
01/08/2011	0	67	0	-29	0	15	0	17
21/09/2011	0	0	0	0	46	13	17	0
28/11/2011		55	0	28	43	0	14	0
22/02/2012		33	0	-70		14		0
14/05/2012	0	0	0	23	0	36	30	0
20/06/2012	0	0	0	0	27	0	0	18
25/07/2012	0	57	0	-37	0	30	26	32
03/10/2012	0	27	-157	0	0	21	20	14
03/12/2012		0	0	0		0		-100
19/03/2013		-70	-175	0	0	0	0	0
23/05/2013	0	-72	-114	0	0	-14	-13	0
Moyenne	10	16	-25	-6	5	14	14	-2

Tableau 50 Rendement épuratoire de la ZRV calculé à partir des concentrations – Wahlbach

Date	Débit entrée (m ³ /j)	Débit sortie (m ³ /j)	En flux de pollution							
			DBO5 %	DCO %	MES %	NH4 %	NK %	NO3 %	NGL %	Pt %
16/02/2011	233	221		0	0	0	-35	0	0	-14
07/06/2011	499	531	92	80	93	0	17	30	22	0
04/07/2011	104	115	0	37	0	0	-52	43	24	7
01/08/2011	101	105	0	65	0	-34	0	12	0	13
21/09/2011	100	97	0	0	0	0	48	15	20	0
28/11/2011	94	100		52	0	23	39	0	9	0
22/02/2012	294	275		38	0	-59		19		0
14/05/2012	314	311	0	0	0	24	0	36	30	0
20/06/2012	346	384	0	0	0	0	19	0	0	9
25/07/2012	173	180	0	55	0	-42	0	27	23	29
03/10/2012	210	196	0	32	-140	0	0	26	25	19
03/12/2012	1200	1078	0	0	0	0		0		-80
19/03/2013	728	727		-70	-175	0		0		0
23/05/2013	785	788	0	-73	-115	0	0	-14	-14	0
Moyenne	370	365	10	15	-24	-6	3	14	13	-1

Tableau 51 : Rendement épuratoire de la ZRV calculé à partir des flux de pollution - Wahlbach

ANNEXE 9 : Suivi photographique de la ZRV du SIA de Lutter-Raedersdorf



Source des photos : M.Nuel et M.Paradowski - AERM

ANNEXE 10 : Suivi photographique de la ZRV de la commune de Liebsdorf



Source des photos : M.Nuel et M.Paradowski - AERM

ANNEXE 11 : Suivi photographique de la ZRV du SIVOM de
Wahlbach-Zaessingue



Source des photos : M.Nuel puis M.Paradowski - AERM