BOURDERIOUX Joël
TOURNOUD Claire

AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTÈRE
DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Rapport de stage

Zones de rejet végétalisées : proposition de matériels de mesure et de sites potentiels en vue d'un suivi expérimental sur le bassin Adour Garonne

Tutrices de stage: Mme DIMARE Jocelyne
Mme BOULP Lauriane

Juin-Septembre 2011

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier nos responsables de stage Mme Jocelyne DI MARE (Expert au service intervention) et Mme Lauriane BOULP (chargée d'étude) pour nous avoir proposé ce stage, pour leur suivi et leurs conseils durant ces trois mois.

Nous remercions également M. Nicolas BOURETZ, directeur du département des collectivités territoriales (DCT), pour nous avoir acceptés dans son service.

Nous tenons également à témoigner toute notre reconnaissance aux personnes suivantes, travaillant au SATESE des départements du bassin Adour Garonne, pour le temps qu'ils nous ont consacré, pour nous avoir conduit (parfois rapidement) sur les routes de leur département, et pour tous les documents et les explications qu'ils nous ont fourni :

- M. Jean-sylvain BOIS du SATESE 82
- M. Frédérique POUSSIN du SATESE 47
- M. Jean-Yves PEYTAVIT du SATESE 46
- M. Jean-Michel LECOSSEC du SATESE 24
-M. Alain MERPILLAT du SATESE 19
- Mme Perrine CALS et M. Thomas JAUMEJOAN du SATESE 81

Nous souhaiterions également remercier M. Sanchez 1er adjoint au maire de la mairie de Bascons et Mme Lacassagne 3ième adjointe au maire pour nous avoir très gentiment accueillis et fait visiter le site de la nouvelle bambouseraie de Bascons.

Nous remercions également les employés communaux responsables des sites que nous avons visités, pour nous avoir permis d'accéder aux zones (quelque fois lors de période de congés) et nous avoir fait part de leur expérience sur les zones de rejet végétalisées.

Nous tenons à remercier tout particulièrement toutes les personnes travaillant au SATESE 81 pour nous avoir reçus dans leurs bureaux et nous avoir consacré leur temps et leurs expériences.

Un grand merci à l'équipe de l'APE, M. Franck THOMAS, M. Benoit Batigne et M. Sébastien Bosvieux pour s'être rendus disponibles, pour leurs conseils avisés sur les instruments de mesure de débit et pour m'avoir fourni les documents nécessaire à l'élaboration de ce rapport.

Enfin, nous remercions de façon plus générale, l'ensemble du personnel de l'agence de l'eau Adour Garonne et notamment les personnes travaillant au DCT pour leurs conseils variés et leur bonne humeur.

RESUME

Depuis le début des années 2000 apparaissent de nouveaux aménagements en aval des stations d'épuration : des zones de rejets végétalisées (ZRV).

Considérées aujourd'hui comme des zones de protection pour le milieu récepteur, de nombreuses fonctions leur sont prêtées : diminution des volumes rejetés par les station d'épuration, épuration complémentaire des effluents, création d'une zone de biodiversité…

La réglementation actuelle ne reconnaît pas les zones de rejet végétalisées comme un procédé de traitement des eaux. Ainsi, les suivis effectués sur les zones existantes sont rares et les premiers retours d'expérience ne permettent pas de prouver une réelle efficacité de ces aménagements.

Toutefois, les zones de rejets végétalisées sont en pleine expansion sur le bassin Adour Garonne. Ceci est notamment dû au fait que le coût de leur aménagement et de leur exploitation est minime. Afin d'encadrer correctement ces zones, de nombreuses études ont été lancées par des organismes publics et privés du domaine de l'eau.

L'objectif de ce rapport est de:

- synthétiser les connaissances acquises sur les zones de rejets végétalisées, à partir des travaux déjà lancés par les organismes publics et privés.
- établir un état des lieux des instruments à installer sur les sites, pour le compartiment sol/sous-sol et le compartiment eau.
- sélectionner une dizaine de zones de rejets végétalisées, dans le but d'effectuer un suivi expérimental de ces zones sur le bassin Adour Garonne.

A partir de ce travail, l'Agence de l'eau pourra participer à l'élaboration d'un guide de dimensionnement et conception de ces ZRV.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS 2
RESUME 3
LISTE DES ABREVIATIONS 5
INTRODUCTION 6
1 ETAT DES CONNAISSANCES ET CARACTERISATION DU PARC SUR LE BASSIN ADOUR-GARONNE 7
1.1 Définition, fonctions attendues, typologie 7
1.2 Etat des connaissances : mécanismes en jeu 9
1.2.1 Evaporation 9
1.2.2 Evapotranspiration 9
1.2.3 Caractéristiques des sols 10
1.2.4 Infiltration 12
1.2.5 Les phénomènes potentiels d'épuration par le sol 13
1.3 Préconisations avant installation 14
1.4 Problématique et projet de recherche en cours 15
2 ETATS DES LIEUX DES INSTRUMENTATIONS NECESSAIRES AU SUIVI D'UNE ZONE DE REJET VEGETALISEE 15
2.1 Bilan matière appliqué à une ZRV 16
2.1.1 Infiltration prépondérante : 17
2.1.2 Phénomènes d'évapotranspiration et évaporation prépondérants 18
2.1.3 Aucun phénomène n'est prépondérant 18
2.1.4 Limites du bilan 19
2.2 Appareils de mesure pour le compartiment eau 19
2.2.1 Matériel de suivi des débits de flux entrant/sortant 19
2.2.1.1 Description des appareils de mesure 19
2.2.1.2 Préconisations pour le suivi des ZRV 23
2.2.2 Matériels de suivi de la pollution. 23
2.2.2.1 Matériel de prélèvement : 23
2.2.2.2 Détermination de la concentration des polluants 24
2.2.2.3 Préconisations pour l'étude compartiment eau 25
2.2.3 Matériels de suivi du phénomène d'évaporation 25
2.3 Instruments de mesure dans le compartiment sol 26
2.3.1 Appareils de mesure de la masse d'eau infiltrée 26
2.3.2 Equipements pour la collecte de l'eau infiltrée et l'évaluation de l'épuration potentielle par le sol 27
2.3.2.1 Lysimètres ouverts 27
2.3.2.2 Bougies poreuses (« lysimètre ») 28
2.3.2.3 Piézomètres et piézomètres à pompe péristaltique 30
2.3.2.4 Drain – puits 30
2.3.3 Mesure indirecte de l'évapotranspiration 30
2.3.4 Mesure de perméabilité 31
2.4 Tableau de synthèse du compartiment sol : 32
3 SELECTION DES SITES POUR L'ETUDE 35
3.1 Bilan des ZRV sur AEAG. 35
3.2 Sélection des sites pour étude après retour terrain 37
LES PROPOSITIONS PRESENTEES DANS CE TABLEAU SONT A AFFINER EN FONCTIONS DES OBJECTIFS ASSIGNES A LA ZONE, NOTAMMENT POUR LES SONDES TDR ET DE RESISTIVITES DONT LES COUTS DE MISE EN ŒUVRE RESTENT A EVALUER. SI L'OBJECTIF EST D'AVOIR UNE ESTIMATION DE L'EPURATION COMPLEMENTAIRE DANS LES ZRV, L'EVALUATION DES MASSES D'EAU INFILTREE N'EST SANS DOUTE PAS NECESSAIRE 41
4 QUELQUES PROPOSITIONS POUR LE DIMENSIONNEMENT DE LA ZRV 41
4.1 Calcul de la surface de la ZRV en fonction des objectifs attendus : 41
4.1.1 L'objectif de la zone est un rejet 0 en période estivale: 41
4.1.2 L'objectif de la zone est un lissage du débit 42
4.2 Recommandations sur la géométrie des ZRV 43
CONCLUSION 45
BIBLIOGRAPHIE 46
ANNEXES 48

Liste des abréviations

AEAG : Agence de l'Eau Adour-Garonne
CEMAGREF : organisme de recherche spécialisé en sciences et technologies pour l'environnement
DCE : Directive Cadre sur l'Eau (directive européenne dans le domaine de l'eau)
EH : Equivalent Habitant (60 g de DBO_5, 135 g de DCO, 9,9 g de N, 3,5 g de P, 80 g de MES)
EPNAC : groupe de travail sur l'Evaluation des Procédés Nouveaux d'Assainissement des petites et moyennes Collectivités
ET : Evapotranspiration
ET0 : Evapotranspiration de référence
ETM : Evapotranspiration maximale
ETP : Evapotranspiration potentielle
ETR : Evapotranspiration réelle
FPR : Filtre Planté de Roseaux
ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
SATESE : Service d'Assistance Technique aux Exploitants de Station d'Epuration
SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
STEU : Station de traitement des eaux usées
ZRV : Zone de rejet végétalisée

INTRODUCTION

Depuis 1970, la politique publique de l'eau s'inscrit dans un cadre européen. Aujourd'hui, la législation européenne comprend une trentaine de directives sur l'eau et notamment la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000 qui fixe comme objectif le bon état des milieux aquatiques d'ici 2015. Dans certaines zones sensibles, du fait, par exemple, d'un faible débit d'étiage ou d'une localisation en amont d'un bassin versant, les rejets d'effluent de station d'épuration peuvent avoir un impact non négligeable sur le milieu récepteur. D'autre part, pour certaines communes, il n'existe aucun milieu récepteur à proximité des STEU. Ainsi, la notion de « rejet zéro » commence à apparaitre, pour certains site, dans les préconisations de maitres d'œuvre et services de Police des Eaux. Afin d'atteindre de tels objectifs, de nouveaux aménagements apparaissent en aval des stations d'épuration : les zones de rejets végétalisées.

Une ZRV est une étendue naturelle, située en aval de filières de station d'épuration. L'objectif global de cette dernière est d'assurer une protection supplémentaire des milieux récepteurs quand ils existent ou, en cas d'absence de ces derniers, d'assurer l'infiltration et/ou l'évapotranspiration totale de l'eau en sortie de station d'épuration.

Face à l'engouement pour ce type de dispositif, l'agence de l'eau Adour Garonne, à travers ce stage, souhaite établir un suivi des ZRV du bassin afin de comprendre les différents mécanismes existants dans ces zones, de quantifier leur réelle efficacité et dans un second temps, de contribuer à l'élaboration d'un guide de dimensionnement et de conception des ZRV.

L'objectif de ce rapport est, tout d'abord, de fournir un état des lieux des instruments nécessaires au suivi d'une ZRV en termes de pollution et de flux entrant/sortant. Suite à cela, des propositions pourront être faites sur la sélection de sites potentiels en vue d'un suivi expérimental sur le bassin Adour Garonne.

Tout d'abord, un état des connaissances des ZRV et une caractérisation du parc sur le bassin Adour Garonne sont proposés, en décrivant plus précisément les typologies des ZRV rencontrées, les fonctions attendues, les mécanismes en jeu et les recommandations qui doivent être prises en compte avant l'installation de la zone.

Puis un état des lieux des instruments nécessaires au suivi d'une ZRV, pour le compartiment eau et le compartiment sol, est réalisé.

Une troisième partie est basée principalement sur l'étude de terrain effectuée sur le bassin Adour Garonne afin de sélectionner les ZRV les plus intéressantes à équiper. Les caractéristiques des zones visitées sont présentées et une sélection des sites après retour terrain est proposée.

1 Etat des connaissances et caractérisation du parc sur le bassin Adour-Garonne

1.1 Définition, fonctions attendues, typologie

Les ZRV sont des espaces naturels, aménagés en aval des stations d'épuration, la plupart du temps à partir de l'espace laissé disponible après la construction de la STEU. Elles sont alimentées directement par les eaux traitées ou quelque fois par les eaux brutes, excédentaires des by pass lors d'épisodes pluvieux importants.

Elles ne sont pas considérées, sur le plan réglementaire, comme un procédé réel de traitement. En effet, les niveaux de qualité du rejet portent sur les effluents en sortie de la station d'épuration et non sur les rejets de la ZRV. Ainsi, il n'existe pas de normes officielles concernant l'élimination des pollutions en sortie de ZRV. L'objectif principal est de réduire l'impact des flux sur le milieu naturel et notamment lors des périodes d'étiages.

Les fonctions attendues d'une ZRV sont donc multiples :

- Une réduction des volumes d'eau de sortie de STEU, rejetés en milieu superficiel. Cette réduction peut s'effectuer selon trois principes : infiltration, évapotranspiration par les végétaux et évaporation de l'eau libre.
- Un abattement complémentaire de la pollution par assimilation des nutriments (azote, phosphore) par les végétaux, par activité bactérienne dans la tranche d'eau superficielle, par activité bactérienne dans le sol et par dégradation sous l'action des UV.
- Un lissage hydraulique afin de limiter l'impact de débits trop importants d'effluent en sortie de STEU sur l'hydromorphologie des berges
- Assurer une zone de protection pour le milieu récepteur lors de départ accidentel de boues de la STEU ou de la mise en place d'un by pass rejetant directement l'effluent brut.
- Une valorisation écologique par la formation d'écosystèmes riches et diversifiés

Il existe différents ouvrages de ZRV, à installer en fonction des objectifs attendus mais aussi du contexte local (surface disponible, capacité d'infiltration du sol…).

Le tableau suivant synthétise les principaux types de ZRV rencontrées :

Tableau 1: Classification des différents ouvrages de ZRV[1]

Type de zone	Origine des matériaux constitutifs	Définition		Eléments discriminants
Prairie	Sol en place (remanié ou non)	Surface de pente douce		
Bassin		Bassin(s) formé(s) par creusement du sol		Par rapport au type « Prairie » Surcreusement, différence de niveau
Fossé/ Noue		Fossé(s) formé(s) par creusement du sol		Par rapport au type « Bassin » Longueur très supérieure à largeur
Autres	Matériaux rapportés	Tout ouvrage comprenant des matériaux rapportés		Exemple de matériaux : Géomembrane, gravier, sable

Chacune de ces technologies a pour point commun la présence de végétaux, autochtones ou en partie implantés par l'homme. Ils peuvent être de type couvert végétal implanté naturellement (prairie) ou de plantes caractéristiques de zones humides (bambous, saules…) (Annexe 1)

[1] BOUTIN Catherine. Fiche technique. Points sur les zones de rejet végétalisées : mécanismes et premières tendances. ONEMA. Novembre 2010.**[en ligne].**
Disponible sur : < https://epnac.cemagref.fr/documentation/documents-pdf/documentation.2011-06-08.7222208604/>

Les coûts dus à la réalisation de la ZRV et à son entretien peuvent fortement varier selon la technologie utilisée.

1.2 Etat des connaissances : mécanismes en jeu

Les effluents de la STEU, alimentant la ZRV, ont trois devenirs possibles : l'infiltration, l'évaporation ou évapotranspiration et le ruissellement vers le milieu récepteur. L'eau qui s'infiltre peut subit une épuration potentielle par le sol.

1.2.1 Evaporation

L'évaporation est le passage de l'eau, de l'état liquide à gazeux, à partir d'une surface d'eau libre ou d'un sol « nu » (sans végétation ou recouvert de neige ou de glace). Elle est donc un moyen de diminuer le volume de rejet de la STEP.

De manière générale, l'évaporation dépend de la température de l'eau ainsi que de paramètres météorologiques : rayonnement solaire net, température et l'humidité de l'air, vitesse du vent. D'autres paramètres rentrent en jeux, suivant si l'évaporation se fait à partir d'une surface d'eau libre (profondeur d'eau, …) ou à partir d'un sol « nu » (teneure en eau, texture, structure, …).

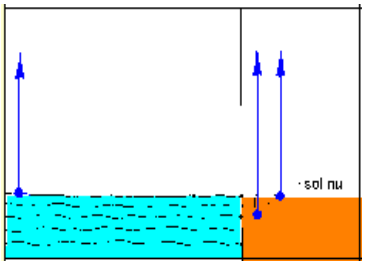


Figure 1: Evaporation à partir d'une surface d'eau libre et d'un sol « nu ».

1.2.2 Evapotranspiration

L'évapotranspiration (ET) prend en compte l'évaporation directe à partir des surfaces d'eau libre, des sols nus, de la canopée et la transpiration végétale. La transpiration des végétaux correspond à l'évaporation par les stomates des feuilles, de l'eau prélevée par les racines. En plus des paramètres de l'évaporation, l'ET dépend du type de végétal, de sa maturité, de la saison, du sol et de sa réserve utile et de l'humidité du sol.

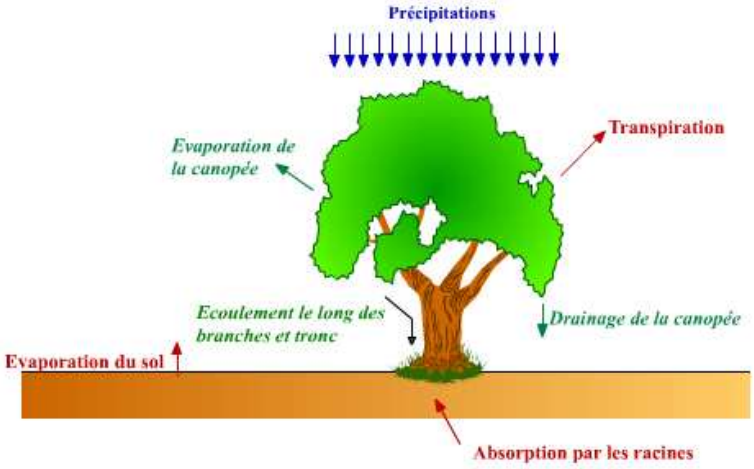


Figure 2: Schéma illustrant le phénomène d'évapotranspiration

L'évapotranspiration est donc un moyen de diminuer le volume de rejet de la STEP en utilisant les besoins en eau de la végétation.

1.2.3 Caractéristiques des sols

Le sol est un compartiment majeur d'une ZRV. Il est donc nécessaire de déterminer ses caractéristiques.

Le sol est la couche meuble de surface. Il se développe à partir de l'altération de la roche sous l'action du climat (pluies, température) et de la colonisation par la biosphère (végétation).

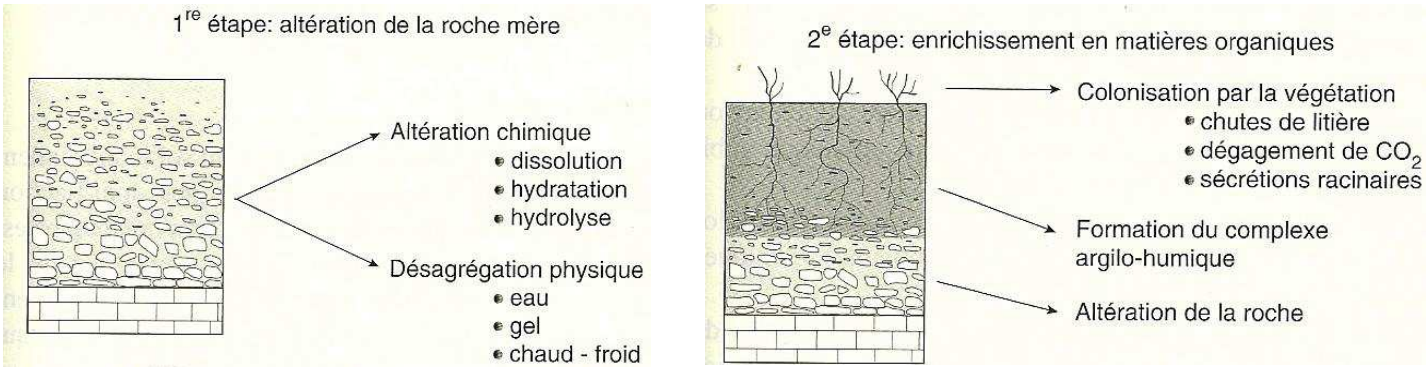


Figure 3: Schémas de profils de sols

L'origine des différents sols sont retrouvés:
- le type de roche (calcite, granite, …),
- le climat (tempéré, tropical)
- la biosphère (résineux, éricacées, …).

Les facteurs de milieu jouent également un rôle important :
- la topographie (influe sur l'altération),
- l'hydrologie (nappe permanente/temporaire),
- l'activité anthropique (agriculture),
- le temps (influe sur l'altération)
- …

L'hétérogénéité de ces paramètres fait que les sols sont très variables à la surface de la terre.
Un sol est constitué d'une succession verticale de couches homogènes appelées horizons.

Les horizons d'un sol sont différenciés par :
- Une texture
- Une structure
- Une composition : calcaire ou non, teneur en matière organique …
- Une rétention en eau
- Une couleur

En effet, ces paramètres sont homogènes dans un même horizon d'un même sol.

Ces différences entre chaque horizon résultent :

- de l'altération qui progresse depuis la roche, c'est-à-dire une altération de plus en plus importante vers la surface
- de la colonisation de la biosphère qui se fait en surface, c'est-à-dire un apport de matière organique en surface,
- des transferts de matière : migration d'ions et de particules…
- de la présence de nappes temporaires ou permanentes

Ces apports de matière organique, transferts de matière transforment petit à petit le sol. Donc, la succession d'horizons (texture, structure, …) changent.
Ces horizons ont été nommés grâce au mécanisme dont ils résultent :

- O = horizon organique
- A = horizon organo-minéral, mélange de particules organiques et minérales (ce mélange est effectué par les organismes du sol…)
- C = horizon d'altération de la roche mère,
- E = horizon de perte d'argile
- B(t) = horizon d'accumulation d'argile
- G = horizon…
- …

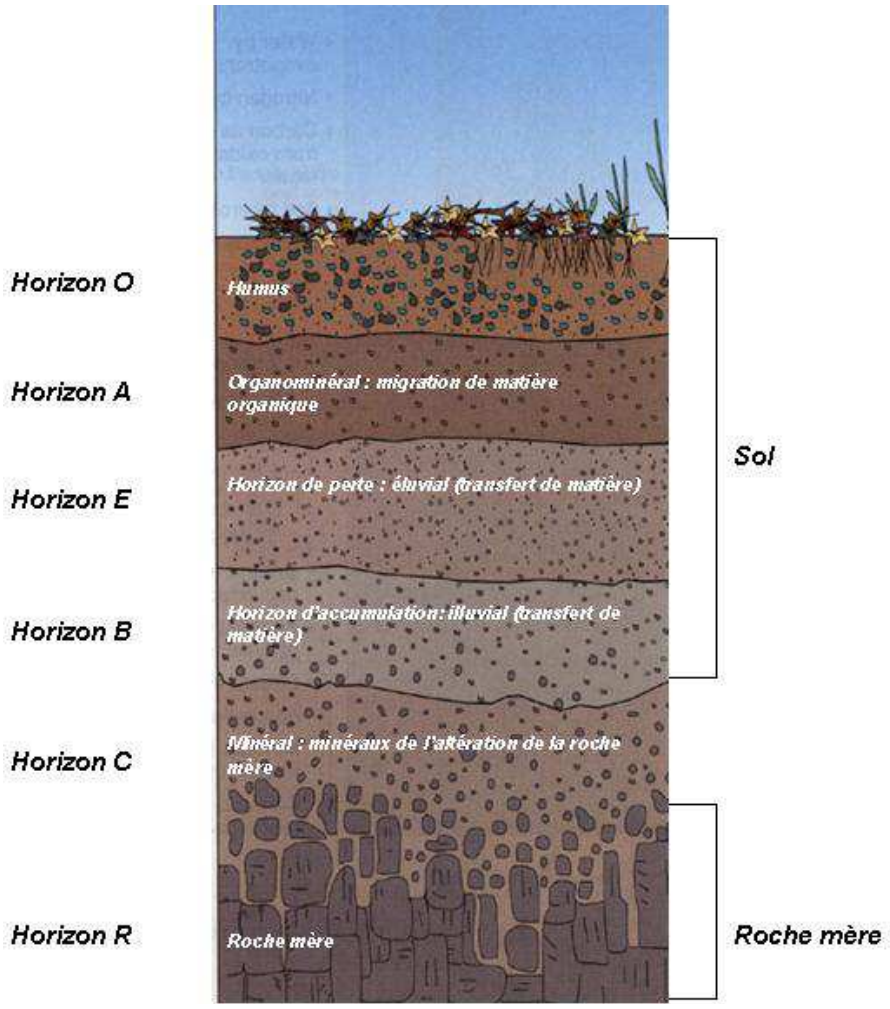


Figure 4: Profil d'un sol mettant en évidence une succession d'horizons

Cette nomenclature des horizons permet de regrouper des sols en type de sol. Un type de sol est défini par sa succession d'horizon. C'est le principe de classification des sols.

La perméabilité d'un sol varie suivant sa texture et sa structure, deux paramètres relativement indépendants du type de sol. En effet, un type de sol est défini par une succession d'horizons. La texture et la structure du sol ne peuvent pas être associées à un type d'horizon (O, A, …). De plus, dans un même sol, la perméabilité varie suivant les horizons puisque la texture peut varier.

1.2.4 Infiltration

L'infiltration est le transfert de l'eau à travers le sol. La capacité d'infiltration (mm/h) d'un sol représente le flux d'eau maximal que peut absorber la surface d'un sol. Elle dépend de la perméabilité du sol, du débit d'alimentation (intensité de la précipitation ou débit d'irrigation) et de l'état d'humidité du sol et varie donc selon ces 3 paramètres. Si le débit d'alimentation est inférieur à la capacité d'infiltration du sol, tout s'infiltre. Au-delà, l'eau s'accumule, formant une couche d'eau et le taux d'infiltration (ou régime d'infiltration) est limité par la capacité d'infiltration.

Dans le sol, on distingue 3 types d'eau:

- **L'eau gravitaire**, qui est contenue dans les macro- et méso- pores, s'écoule rapidement par gravité si le sol est bien drainé.
- **L'eau capillaire**, qui est retenue dans la microporosité, peut être prélevée par les plantes.
- **L'eau liée** qui forme une fine couche autour des particules et leur est très fortement liée. Cette dernière ne peut pas être utilisée par les plantes et n'atteint pas la nappe.

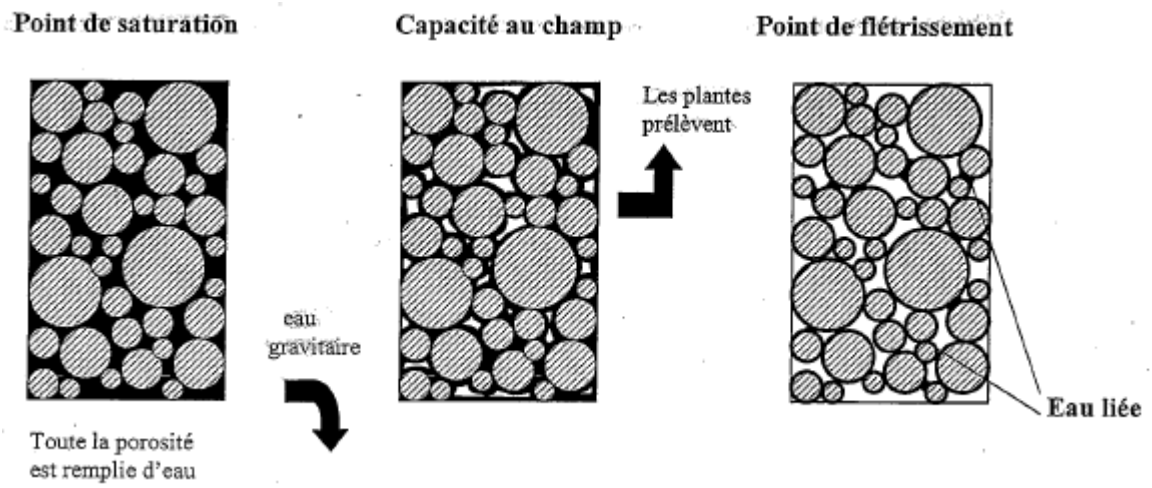


Figure 5: Schéma présentant les trois types d'eau dans le sol.

La capacité au champ est le volume d'eau maximal que peut retenir le sol. Elle est donc atteinte quand toute la microporosité est remplie d'eau. Ainsi lorsque l'eau s'infiltre, elle commence à humidifier la partie supérieure du sol et ce n'est qu'une fois la microporosité remplie qu'elle poursuit son infiltration pour humidifier de la même manière la couche sous-jacente, cela jusqu'à la nappe.

La perméabilité K est la plus ou moins grande facilité que présente un sol à se laisser traverser par l'eau. Elle s'exprime en m/s ou mm/h, il s'agit donc d'une vitesse de circulation de l'eau entre les grains.

Tableau 2: Typologie des sols en fonction de leurs valeurs de coefficient de perméabilité K, déterminé à l'eau claire.

Perméabilité		Typologie du sol	Nature du Sol	Aptitude à l'infiltration
m/s	mm/h			
$\mathbf{K} < 10^{-6}$	$\mathbf{K} < 4$	Sol très peu perméable	Argile	Nulle
$10^{-6} < \mathbf{K} < 3.10^{-6}$	$4 < \mathbf{K} < 11$	Sol peu perméable	Sol argileux	Mauvaise
$3.10^{-6} < \mathbf{K} < 10^{-5}$	$11 < \mathbf{K} < 36$	Sol de perméable médiocre	Sol limoneux	Faible
$10^{-5} < \mathbf{K} < 2.10^{-5}$	$36 < \mathbf{K} < 72$	Sol assez perméable	Sable très fin	Bonne
$2.10^{-5} < \mathbf{K} < 5.10^{-5}$	$72 < \mathbf{K} < 180$	Sol perméable	Sable fin	Bonne
$\mathbf{K} > 5.10^{-5}$	$\mathbf{K} > 180$	Sol très perméable	Sable moyen	Très bonne

La perméabilité varie suivant la texture et la structure du sol. La texture est la taille des particules (sable, limon, argile) et la structure est l'agencement entre ces particules (structure en agrégat, particulaire, massive, mécanique,…). Deux sols de même texture mais de structure différente peuvent ainsi présenter des valeurs de perméabilités différentes. En effet, c'est l'agencement des particules entre elles qui génère des pores plus ou moins gros, menant à des valeurs de perméabilité plus ou moins importantes. La végétation et la faune du sol génèrent aussi une porosité (racines, terriers, chemins, …) qui favorise l'infiltration.

1.2.5 Les phénomènes potentiels d'épuration par le sol

L'épuration des eaux par infiltration dans le sol fait intervenir des processus physiques, chimiques mais essentiellement biologiques.

Les matières en suspension sont retenues par filtration mécanique à la surface du sol.

Les bactéries et champignons dégradent la matière organique. Ils transforment dans les premiers centimètres du sol (zone aérobie) NH_4^+ en NO_3^- via la nitrification. Les nitrates sont ensuite consommés par les plantes ou lixiviés pour être en partie dénitrifiés en zone anaérobie, plus en profondeur.

Les plantes comme les bactéries et champignons utilisent des nutriments (NH_4^+ , NO_3^- PO_4^{3-}) qu'ils prélèvent dans le sol. Il est difficile de quantifier exactement ce mécanisme car la vitesse d'assimilation par les plantes varie en fonction des types de végétaux mais aussi de leurs âges. Dans le cas de végétaux jeunes en pleine croissance, la vitesse d'assimilation sera beaucoup plus grande que lorsque les végétaux sont à maturités (la vitesse tend vers 0).

L'essentiel du phosphore est sous forme d'orthophosphates (ou phosphate PO_4^{3-}), le reste étant sous forme organique. PO_4^{3-} est essentiellement éliminé par voie géochimique, via l'adsorption sur les particules du sol chargées positivement et par précipitation avec des cations polymétalliques (Al, Ca, Fe) sous forme de phosphate cristallin.

1.3 Préconisations avant installation

L'installation d'une ZRV n'est pas encadrée par une règlementation claire et un cahier des charges précis. En effet, n'étant pas considérée comme un procédé réel de traitement sur le plan réglementaire, il n'existe, à ce jour, que très peu de suivi des zones.

L'article 10 de l'arrêté du 22 juin 2007 est actuellement le seul texte de loi qui impose la réalisation d'une étude hydrogéologique, permettant d'établir l'aptitude des sols à l'infiltration des eaux traitées.

L'agence de l'eau Adour Garonne a participé à l'élaboration d'un guide de préconisation du contenu des études préalables à la réalisation d'une Zone de Rejet Végétalisée. Il a pour objectif de « *préciser le contenu des études préalables d'ordre et pédologique, géologique et hydrogéologique avant la réalisation d'une ZRV, et d'aider ainsi les maîtres d'ouvrage dans leur projet* [2] *».* Ainsi les études préalables à la construction d'une ZRV, devraient contenir :

- Un contexte général du projet comprenant la description du contexte général du site et de son environnement (localisation communale, topographie, contexte géologique, hydrologique, hydrogéologique et climatique). Il doit aussi lister les masses d'eau de surface et souterraines se situant à proximité du site dans le but d'évaluer les risques de contaminations éventuels.
- Une étude de sol et sous sol : à travers des tests de perméabilité du sol et du profil pédologique du sol qui mettent en évidence l'état et les caractéristiques du sol et du sous sol du site.
- Une évaluation du niveau des nappes et une appréciation du sens d'écoulement des eaux : à partir des cartes piézométriques existantes ou à partir de mesures *in situ* à l'aide de puits ou de piézomètres.
- Une évaluation du sens d'écoulement des eaux par traçage permettant de caractériser très précisément les écoulements en profondeur. Toutefois, compte tenu du coût de telles investigations, ce dernier test n'est pas cohérent avec ce type d'aménagement.

Ces investigations ne sont pas nécessaires dans tous les cas : une note interne AEAG adapte le contenu des études préalables à la taille des STEU.

De plus, afin de maximiser le fonctionnement de la ZRV, l'eau doit être répartie de façon homogène sur toute la surface prévue. Des moyens de répartition des eaux peuvent être installés comme des goulottes de distribution, une répartition des eaux par alternance sur les plateaux… Il est aussi recommandé d'augmenter le temps de séjour et de contact dans le bassin en favorisant un écoulement lent.

---

[2] *« Contenu des études préalable à la réalisation d'une Zone de Rejet Végétalisée ».* Document intermédiaire. Groupe de travail sur l'Evaluation des Procédés Nouveaux d'Assainissement des petites et moyennes Collectivités. Groupe de travail EPNAC. Mars 2011.

Lors de la conception de la ZRV, un aménagement du site doit être effectué afin de faciliter l'accessibilité de la zone aux engins d'exploitation. La récolte des végétaux doit aussi être prévue par des engins de faucardage.

Enfin, les ZRV ne doivent pas être des ouvrages entrainant des nuisances : érosion des berges, afflux de moustiques…

1.4 Problématique et projet de recherche en cours

Plus d'une centaine de ZRV ont été installées sur le bassin Adour Garonne, les premières datant du début des années 90. Il n'existe que peu de suivi de ces ZRV ainsi leur efficacité n'est pas encore prouvée.

L'amélioration des protocoles d'élaboration et de suivi des ZRV est primordiale pour faire face au développement rapide des ZRV. Les agences de l'eau, le Cemagref, les SATESES mais aussi des entreprises privées ont pris conscience de cela. Le groupe de travail EPNAC, créé en 2008 à l'initiative du CEMAGREF, mutualise et diffuse les connaissances sur le suivi des procédés adaptés aux petites collectivités. Il comprend les organismes suivant : les Agences de l'eau, ONEMA, CEMAGREF, SATESE, …C'est dans ce cadre que le groupe EPNAC a élaboré un guide sur l'étude préalable à la réalisation d'une ZRV en mars 2011. L'agence de l'eau Rhin Meuse a réalisé des plaquettes sur la mise en place des ZRV. Certains SATESE effectuent quelques suivis sur des ZRV.

Actuellement, l'objectif de l'agence de l'eau Adour Garonne est d'établir un cahier des charges de suivi des ZRV, afin de mieux appréhender les mécanismes en jeu et de déterminer leurs réelles efficacités. Pour cela, des ZRV sélectionnées devront être équipées en matériel de suivi, pour les compartiments eau et sol. Ce matériel, indispensable pour quantifier l'efficacité d'une zone, doit donc être choisi de façon judicieuse, afin de limiter les incertitudes de mesure ainsi que des investissements trop importants.

2 Etats des lieux des instrumentations nécessaires au suivi d'une zone de rejet végétalisée

Dans une ZRV, les eaux issues des STEU sont présentes dans trois compartiments clés :

- Le sol et sous sol où se produisent les phénomènes d'infiltration et d'épuration
- Les végétaux qui assimilent et transpirent les eaux infiltrées du sol
- L'eau superficielle où se produisent les phénomènes d'évaporation.

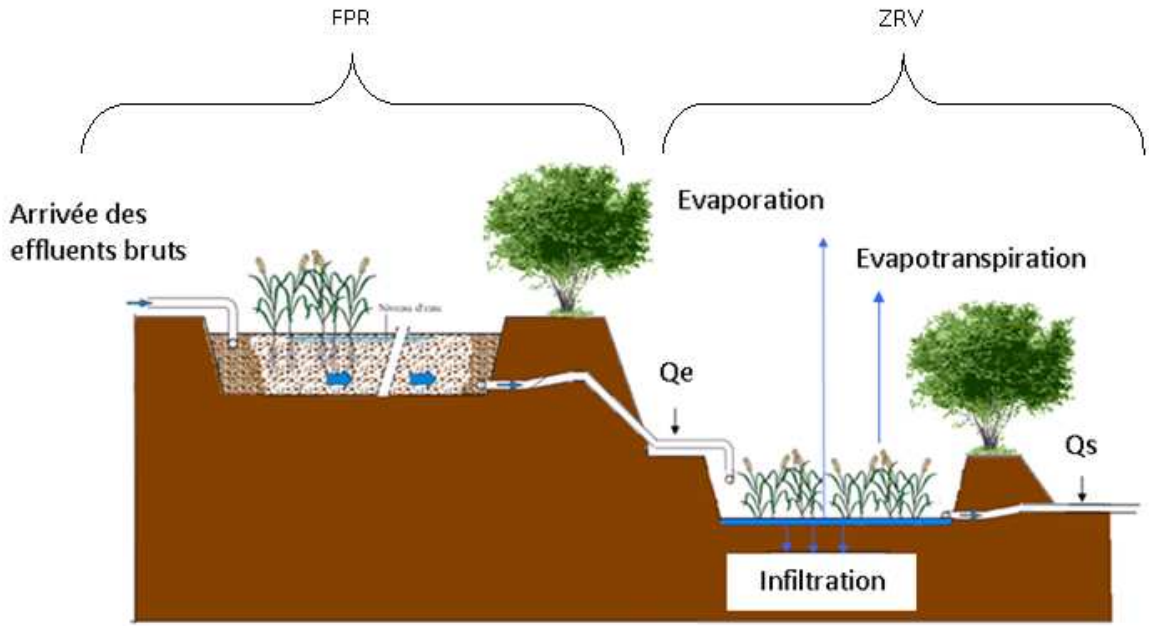


Figure 6: Schéma d'une STEU de type FPR suivie d'une ZRV répertoriant les trois compartiments clés : le sol et sous-sol, les végétaux et l'eau superficielle

Un bilan matière sur la ZRV permet de mettre en évidence l'ensemble des flux à mesurer et/ou quantifier pour apprécier les phénomènes se déroulant dans une ZRV.

2.1 Bilan matière appliqué à une ZRV

Pour comprendre et quantifier ces différents mécanismes, la ZRV doit faire l'objet d'un suivi en termes de pollution et de flux entrant/sortant. Un bilan matière peut être effectué sur la ZRV :

$$Q_e + Q_{pluie} = \frac{dV}{dt} + Q_s + Q_{ET} + Q_E + Q_I$$

Q_e : débit d'effluent en entrée (m^3/h)

Q_{pluie} : précipitation (m^3/h)

Q_s : débit d'effluent en sortie (m^3/h)

Q_{ET} : débit d'effluent évapotranspiré (m^3/h)

Q_E : débit d'effluent évaporé (m^3/h)

Q_I : débit d'effluent infiltré (m^3/h)

$\frac{dV}{dt}$: stockage : le volume d'eau superficiel présent dans la ZRV en fonction du temps(m^3/h).

L'instrumentation à prévoir est fonction du phénomène prépondérant à mesurer et de la facilité de sa mise en œuvre sur le terrain. Selon la typologie de la ZRV, la nature du sol et le type de végétaux, certains phénomènes sont plus ou moins importants à mesurer:

- Infiltration/épuration
- Evaporation et évapotranspiration/épuration

2.1.1 Infiltration prépondérante :

Dans le cas où l'aptitude à l'infiltration du sol est bonne (k>2.10^{-5}m/s), le principal objectif de la ZRV est d'infiltrer totalement les effluents, favorisant ainsi un rejet nul dans le milieu récepteur. Lors du dimensionnement de la ZRV, la surface prévue doit être suffisamment importante pour atteindre ces objectifs (partie 4). Le calcul du débit d'infiltration est effectué de deux manières :

- Mesure direct de Q_I à partir d'une mesure par des capteurs.

La quantité de masse d'eau infiltrée dans le sol est obtenu par des sondes TDR et de résistivités (présentées dans la partie 2.3.1).

- Mesure indirect de Q_I à partir du bilan effectué sur la zone :

$$Q_e + Q_{pluie} = \frac{dV}{dt} + Q_s + Q_{ET} + Q_E + Q_I$$

Hypothèse :

- Le bilan doit être effectué en période sèche : Q_{pluie} est nul.
- Qs est négligé : Qs <1m^3/h (débit minimum accepté par les appareils de mesure)

Le bilan devient donc :

$$Q_I = Q_e - Q_{ET} - Q_E - \frac{dV}{dt}$$

Le variation du volume d'eau stockée dans la ZRV est obtenu par la relation :

$$\frac{dV}{dt} = S_{ZRV} \times \frac{dh}{dt}$$

S_{ZRV} : Surface de la ZRV (m²)

$\frac{dh}{dt}$: Variation de la hauteur d'eau dans la ZRV (m/h)

Q_e : à mesurer par des appareils de mesure de débit (cf partie 2.2.1)

Q_E : à mesurer à partir des appareils de mesure d'évaporation (cf partie 2.2.3)

Il est difficile, au vu des techniques que nous disposons aujourd'hui, d'obtenir une valeur exacte d'évapotranspiration Q_{ET} par une mesure à partir de capteurs. Certaines formules empiriques existent mais n'offrent qu'une estimation de la valeur de l'évapotranspiration (cf tableau n°4).

Le CEMAGREF, qui a pour projet d'équiper entièrement une ZRV pour comprendre et quantifier les mécanismes en jeu, néglige la valeur d'évapotranspiration dans le bilan face aux autres paramètres dans le cas de ZRV avec végétation autochtone.

Remarque : Toutefois, certaines ZRV sont construites en ayant pour objectif principal l'évapotranspiration. C'est le cas par exemple de la bambouseraie de Bascons. Cette ZRV a été spécialement dimensionnée à partir de la capacité du bambou à évapotranspirer. D'après les prévisions du bureau d'étude, la quantité d'eau évapotranspirée serait au moins égale à la moitié de la valeur de la quantité d'eau infiltrée, sur au moins 8 mois de l'année. Ce paramètre ne peut donc pas être négligé sur cette ZRV.

2.1.2 Phénomènes d'évapotranspiration et évaporation prépondérants

Dans le cas où l'aptitude du sol à infiltrer est nulle ($K<10^{-6}$ m/s), les phénomènes d'évaporation et d'évapotranspiration sont prépondérants sur la zone. Ces phénomènes peuvent se quantifier directement à partir d'instruments de mesure pour l'évaporation et par des formules empiriques pour l'évapotranspiration, ou indirectement par l'équation bilan :

$$Q_e + Q_{pluie} = \frac{dV}{dt} + Q_s + Q_{ET} + Q_E + Q_I$$

Hypothèse :

- Le bilan doit être effectué en période sèche : Q_{pluie} est nul.
- Q_I est négligeable

$$Q_{ET} + Q_E = Q_e - Q_s - \frac{dV}{dt}$$

2.1.3 Aucun phénomène n'est prépondérant

Dans le cas où $10^{-6} < k < 2.10^{-5}$m/s, aucun phénomène n'est prépondérant sur la zone. Le choix de l'équipement à installer sur la ZRV reste à l'appréciation du maître d'ouvrage (selon le Q en entrée).

2.1.4 Limites du bilan

Le bilan matière correspond à un cas idéal de ZRV.

En réalité (d'après différents SATESE), il faudrait prendre en compte une arrivée d'eaux parasitaires sur les ZRV, provenant d'écoulements latéraux, voire de remontée de nappes. En effet, les ZRV sont des systèmes ouverts, non étanchéifiés. Lors d'épisodes pluvieux importants, le sol se gorge d'eau, favorisant des écoulements dans toutes les directions. Cette quantité d'eau qui rentre dans la ZRV pourrait être non négligeable dans le bilan. Par exemple, pour certaines ZRV du Tarn, les concentrations en charges polluantes en sortie de ZRV sont sous les seuils de détection des analyseurs, du fait d'une dilution trop importante par les eaux parasitaires.

Les mesures des différents paramètres doivent donc être effectuées en période sèche (lorsque les derniers épisodes pluvieux datent de plusieurs jours), c'est-à-dire lorsque le régime est le plus stable possible.

D'après le SATESE 82, ce bilan ne semble applicable que pour des sites où les débits d'entrée et de sortie sont significatifs, (c'est-à-dire des sites où au moins 500 habitants sont raccordés au réseau). Dans ce cas, l'arrivée d'eaux parasitaire devient négligeable.

Remarque : Dans tous les cas, un suivi plus poussé sur le milieu récepteur semble indispensable pour déterminer le réel impact du site sur l'environnement (mesure en amont/aval du site sur le milieu récepteur).

2.2 Appareils de mesure pour le compartiment eau

Afin de pouvoir quantifier les phénomènes existants dans une ZRV, il est nécessaire d'équiper le compartiment eau en matériel de suivi. L'objectif est de mesurer les débits d'effluent en entrée et en sortie de zone. Une épuration complémentaire de la ZRV peut être mise en évidence en effectuant des prélèvements entrée/sortie et en analysant la concentration en macro et micro-polluants de l'eau superficielle.

2.2.1 Matériel de suivi des débits de flux entrant/sortant

2.2.1.1 Description des appareils de mesure

De nombreux débitmètres existent sur le marché. Il convient alors de choisir le plus adapté à notre configuration de ZRV. Le choix d'un débitmètre dépend de plusieurs paramètres[3] :

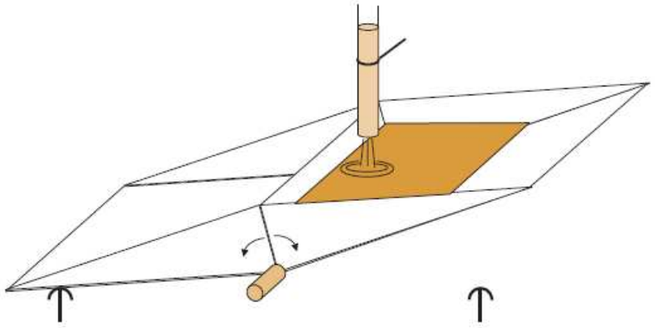
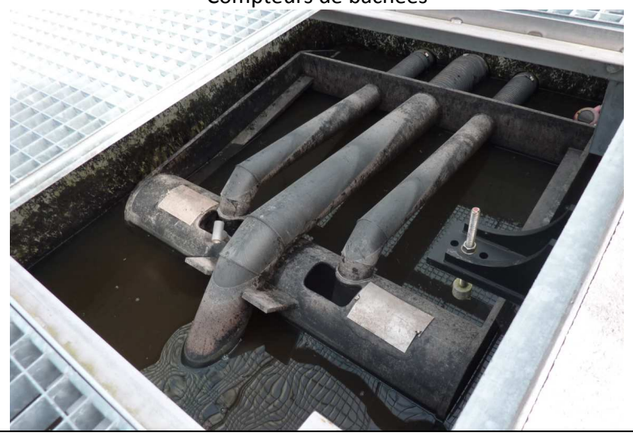
[3] *Mise en œuvre de l'autosurveillance des stations d'épuration*. L00503a. Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Agence de l'eau Adour Garonne. Office International de l'Eau. Juillet 2003.

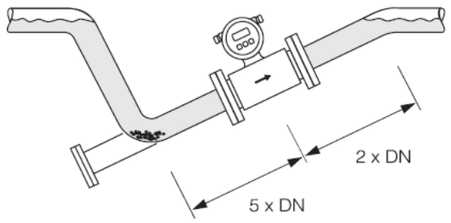
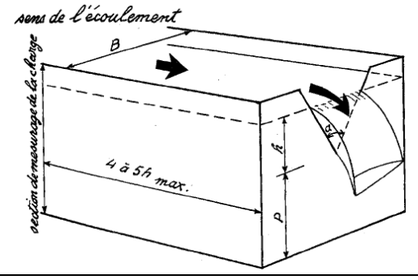
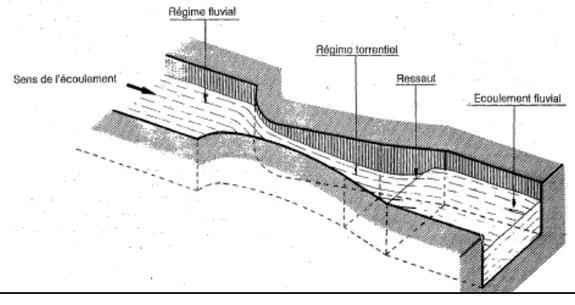
- nature de l'application (conduites fermées ou écoulement en surface libre)
- les caractéristiques de l'effluent à traiter (MES, mousses, pH…)
- la gamme de débit rejeté par la station d'épuration
- les contraintes d'implantation (mise en charge amont, aval ; débordement)
- la précision souhaitée (dynamique de mesure, exactitude, protection contre les surcharges de mesure…)
- le coût du système (achat, installation, maintenance)

Lorsque la conduite est en charge (phénomène rarement rencontré au cours de nos visites sur le terrain), la mesure de débit peut être effectuée directement dans la canalisation fermée, à partir des appareils de type électromagnétique, à effet vortex, à ultrasons ou à différence de temps de transit ou à effet Doppler. (Annexe2)

Lorsque les effluents débouchent gravitairement de la STEU, la conduite n'est pas en charge (le plus souvent rencontré lors de nos visites). La mesure de débit peut alors s'effectuer à partir de plusieurs appareils présentés dans le tableau suivant.

Tableau 3: Présentation des différents appareils de mesure de débit en entrée et sortie de ZRV (Annexe 2)

Appareils de mesure de débits	Description	Domaine d'application	Type de mesure	Avantages	Inconvénients	Précision
Manchon déversoir	Les manchons sont insérés dans la conduite (ϕ=150mm à 350mm), une chambre à air périphérique est gonflée, entre la canalisation et le manchon, pour assurer l'étanchéité. L'effluent déverse alors, soit sur un seuil de type triangulaire, soit sur une section de passage circulaire. La variation de la hauteur d'eau induite est proportionnelle au débit.	Orifice en V : 0.3 à 0.7 (m3/h) Orifice circulaire : 1 à 145 m3/h	Ponctuelle	Facilité d'installation Coût d'investissement relativement faible	Utilisation uniquement pour de faibles débits	± 5%
Auget basculant 	Le premier auget se remplit jusqu'à atteindre un certaine masse d'eau, connue. Le centre de gravité se déplace alors et l'auget bascule. Pendant que le premier auget se vide, le second commence à se remplir. Le nombre de basculements est enregistré par un compteur.	Q<3.6 (m3/h)	Ponctuelle	Coût d'investissement relativement faible Ne nécessite pas d'électricité	Nécessite une chute d'eau pour la mesure. Présence de végétaux dans l'auget qui peuvent fausser la mesure	-
Compteurs de bachées 	Si la ZRV est alimentée par bâchées, le débit entrant peut être mesurée à partir du compteur de bâchée. Le volume de la chasse est connu : le nombre de bâchées entre deux temps permet d'obtenir la valeur du débit.	Domaine d'application de la chasse	Continue	Ne nécessite aucun investissement supplémentaire Ne nécessite pas d'électricité	De nombreux problèmes ont été rencontrés sur les chasses, la mesure de débit peut être faussée	-

Appareils de mesure de débits		Description	Domaine d'application	Type de mesure	Avantages	Inconvénients	Précision
Débitmètre électromagnétique pour conduite pleine 		Il est nécessaire de créer un siphon pour mettre la conduite en charge. Un champ magnétique est créé par des bobines dans la canalisation. Le liquide qui le traverse crée une force électromotrice entrainant une différence de potentiel, directement proportionnelle à la vitesse du fluide.	Dépend du diamètre de la canalisation	Continue	Mesure de débit en continu. Peut être utilisé sur une large gamme de débit	Accumulation de MES dans le coude du siphon, faussant la mesure. Nécessite une alimentation électrique	± 1% dans des conditions optimales d'utilisation.
Débitmètre électromagnétique pour conduite non pleine		Un capteur de niveau, installé au sommet de la conduite, est couplé avec une sonde de vitesse Doppler. Les données sont alors couplées et analysées afin d'obtenir une valeur de débit en continu. Les capteurs sont enterrés avec la canalisation.		Continue	-	Coût très élevé	± 3%
Déversoir à mince paroi de type triangulaire 	Limnimètre bulle à bulle	Mesure indirect du débit par une mesure de hauteur d'eau s'écoulant au dessus du déversoir	Dépend de l'angle du déversoir : De 1 (m3/h) à 500 (m3/h)	Bilan sur 24h	Mesure de très faibles débits. Mesure de débit variant dans une grande proportion. Coût relativement faible	Elévation importante du niveau de l'écoulement. Non adapté pour des fluide chargés car risque de colmatage de l'échancrure	± 5% dans les meilleures conditions d'implantation
	Capteurs à ultrason			Continu			
Canal Venturi 	Limnimètre bulle à bulle	l'écoulement est perturbé par la contraction latérale du canal. La hauteur de fluide en amont varie en fonction du débit de fluide.	De 1(m3/h) à 25000(m3/h)	Bilan sur 24h	Bien adapté pour la mesure de fluide chargé Intéressant lors de faible pente Vaste étendue de plage de mesure Pour une taille similaire, permet de mesurer de plus grands débits qu'un déversoir	Cher et délicat à installer Moins bonne précision que le déversoir à mince paroi pour de petits débits (généralement le cas pour des ZRV)	De 2% à 5%
	Capteurs à ultrason			Continu			

Le positionnement des points de mesure de débits doit être effectué correctement afin de limiter les incertitudes sur la mesure :

- la longueur droite de la canalisation doit être au moins égale à 20 fois le diamètre de la conduite
- la pente est uniforme et d'angle inférieur à 2% de préférence
- le tronçon doit être en bon état (éviter les raccordements, les obstacles, les parois dégradées…
- éviter les sections trop en aval de réseau, ne pas avoir d'influence en aval.
- mesure de la hauteur et de la vitesse dans la même section.
- éviter les faibles pentes (risque de dépôts) et les fortes vitesses

2.2.1.2 Préconisations pour le suivi des ZRV

Les ZRV sont en général installées derrière des STEU de petites capacités. Les débits entrants, et surtout sortants, sont faibles. Il est donc recommandé de mettre en place **un déversoir à mince paroi de type triangulaire**. L'angle du déversoir est alors fonction du débit reçu : plus le débit est grand, plus l'angle du déversoir est important. L'angle peut varier de 20° à 110°. Des bilans 24h pourront être effectués à partir d'un limnimètre bulle à bulle ou un capteur à ultrason.

2.2.2 Matériels de suivi de la pollution.

2.2.2.1 Matériel de prélèvement :

Etant donné qu'il n'existe pas de réglementation sur le niveau de rejet en sortie de ZRV, la fréquence des prélèvements n'est pas imposée.

Quatre types de prélèvement sont connus:

- **Prélèvement ponctuel** (met en évidence un rejet anormal, un incident, une évaluation à un instant donné…) pour les STEP de petite capacité où les débits entrants et sortants sont faibles, le prélèvement pourra se faire manuellement.

- **Prélèvement fractionné** par rapport au temps (pour étudier les variations de pollution/temps). Nécessite l'installation d'un préleveur automatique multiflacons. Chaque flacon correspond à un intervalle de temps préréglable et reçoit un nombre d'échantillons selon un mode fréquence/durée modulable.

- **Prélèvement moyen 24h asservi au débit** (permet d'évaluer un flux polluant et de vérifier la conformité des normes de rejet). La mise en place d'un préleveur automatique à flacon unique associé à un débitmètre devient nécessaire. La fréquence d'échantillon varie en fonction des débits entrants/sortants de la zone. Les flacons doivent avoir une contenance de 1L à 2L afin de pouvoir effectuer toutes les analyses. Les flacons d'échantillon doivent être placés dans des postes réfrigérés (2°C à 5°C) afin que la qualité de l'eau ne se dégrade pas.

- **Prélèvement en continu.**

2.2.2.2 Détermination de la concentration des polluants

Afin de vérifier l'efficacité épuratoire de la ZRV, des regards de prélèvements doivent être prévus en entrée et en sortie de ZRV.

Les paramètres à tester peuvent être : DBO_5, DCO, MES, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, NTK, PT, Po4, pH, conductivité, bactériologie (E.Coli).

Ces paramètres peuvent faire l'objet d'analyse en laboratoire sur échantillon ou de mesure directe en continu (Annexe 3).

Un suivi en continu sur les macros polluants ne peut être réalisé que sur : MES, DCO, NH_4, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, P_T. La fréquence de mesures dépend des paramètres testés mais peut être réglée au maximum à une mesure toutes les 10 min. Les capteurs devront être nettoyés régulièrement et notamment les sondes immergées (une fois par mois). Les incertitudes de mesure sont de l'ordre de 5%. Les capteurs de mesure en continu restent toutefois assez chers (de l'ordre de 10 000 € par appareil).

Un suivi en continu sur les micro polluants (médicaments, pesticides…) est effectué à partir d'échantillonneurs passifs intégratifs, installés directement dans le milieu à échantillonner. L'échantillonneur est constitué d'un tube, comprenant une barrière de diffusion (membrane, gel) et est rempli d'un milieu récepteur qui piège les polluants à doser. Ce matériel est utilisé pour prélever des échantillons destinés à l'analyse de micropolluants.

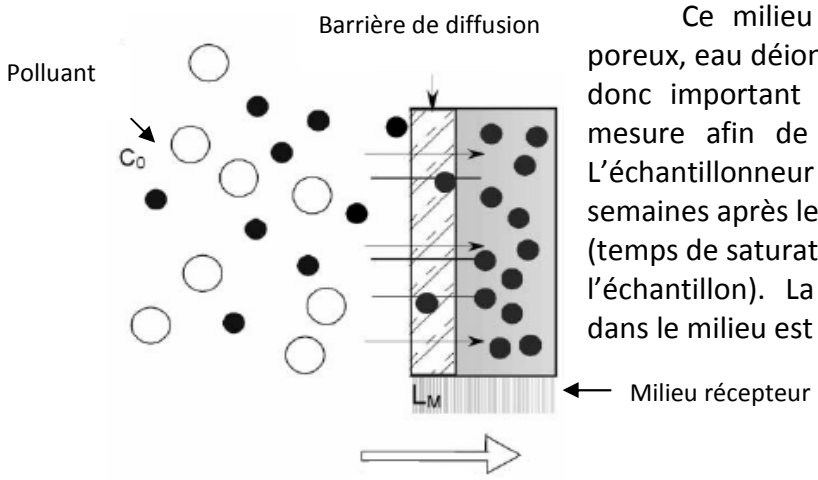


Figure 7: Schéma illustrant la diffusion des polluants à l'intérieur des échantillonneurs passifs

Ce milieu (solvant, réactif chimique, adsorbant poreux, eau déionisée) dépend du polluant à piéger. Il est donc important de savoir sur quel élément porte la mesure afin de choisir le préleveur le plus adapté. L'échantillonneur est retiré au bout de deux ou trois semaines après le début de l'exposition ou à partir de T50 (temps de saturation de la moitié de l'échantillon). La concentration moyenne de polluant dans le milieu est alors déduite par méthode intégrative.

2.2.2.3 Préconisations pour l'étude compartiment eau

Pour la plupart des ZRV, le débit en sortie de zone est nul ou occasionnel, notamment en période d'étiage. L'installation d'un équipement lourd pour un suivi en continu des macro polluants n'est alors pas nécessaire. D'autant plus que pour des STEU de petites capacités, l'arrivée d'eaux parasitaires est telle qu'elles faussent les valeurs de rendement épuratoire de la zone. Ainsi, pour de faibles débits de sortie, **un bilan 24h asservi au débit** (à partir d'un préleveur portable et réfrigéré) est préconisé et doit être effectué lorsque le système est le plus stable possible (pas d'épisodes pluvieux au cours de la semaine précédant le bilan).

Pour des STEU de plus grandes capacités, où un suivi en continu est demandé sur la STEU (capacité >2000 EH), il peut être envisagé un suivi en continu de la zone.

2.2.3 Matériels de suivi du phénomène d'évaporation

Les principaux appareils rencontrés parmi les instruments de mesure de l'évaporation à partir d'une surface d'eau libre, sont :

- **l'évaporimètre de Piche** : il est constitué d'une éprouvette remplie d'eau et bouchée par du papier poreux. L'eau s'évapore à travers ce papier, la diminution du niveau d'eau est alors directement lisible sur le tube. Le taux d'évaporation est obtenu en ramenant le volume d'eau évaporé par unité de surface de papier.

Figure 8: Evaporimètre de Piche et abri météorologique

- **le bac colorado :** il comprend un dispositif qui enregistre le temps nécessaire pour évaporer 1 cm d'eau dans le bac. L'évaporation étant fonction de la profondeur d'eau, le niveau d'eau dans le bac doit être constamment réajusté. Le bac Colorado est également équipé d'un pluviomètre afin de quantifier la quantité d'eau reçue par le bac et donc de corriger la mesure d'évaporation. De la même manière que pour l'évaporimètre de Piche, on ramène le volume évaporé à la surface du bac (=surface du bac/surface d'eau).

Figure 9: Schéma de principe et photo d'un bac Colorado

2.3 Instruments de mesure dans le compartiment sol

Le phénomène d'infiltration est un paramètre non négligeable dans les mécanismes en jeu d'une ZRV. Pouvoir connaître la masse d'eau infiltrée dans le sol permet d'effectuer un bilan sur la ZRV et connaitre ainsi quel paramètre, infiltration évaporation ou évapotranspiration, joue un rôle prépondérant sur la zone.

Le suivi de la pollution dans le compartiment sol est nécessaire pour connaitre la teneur en polluant de l'eau infiltrée. Equiper les ZRV en instruments de mesure va permettre de quantifier le rôle épuratoire du sol, qui n'est finalement pas encore réellement prouvé. Le fait d'effectuer un suivi sur les polluants dans le sol permettra aussi d'évaluer les risques de contamination environnementale par les ZRV.

La mesure indirecte de l'évapotranspiration et la mesure de la perméabilité du sol sont également des paramètres à prendre en compte lors de l'étude du compartiment sol.

2.3.1 Appareils de mesure de la masse d'eau infiltrée

La méthode retenue par le CEMAGREF pour mesurer en continu la masse d'eau infiltrée dans le sol d'une ZRV est celle utilisant les sondes TDR et les sondes de résistivité. Le principe de mesure des sondes TDR repose sur une mesure de la permittivité du sol : ce paramètre physique met en évidence la réponse d'un milieu à un champ électrique qui lui est appliqué. La perméabilité relative correspond au rapport de la permittivité mesurée par la permittivité du vide.

Des tiges métalliques (groupées par deux, ou trois) sont enterrées dans le sol. Un générateur de signal émet une impulsion électromagnétique à la base de ces tiges. Le temps d'aller/retour de l'impulsion le long des tiges dépend de la permittivité relative du sol ε_r :

$$\varepsilon_r = (\frac{c \times T}{2 \times L})^2$$

c : La vitesse de la lumière (m/s)
T : le temps de propagation aller/retour (s)

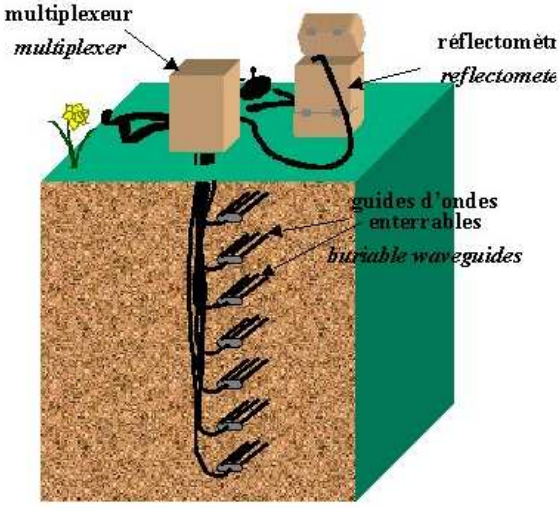


Figure 10: Schéma illustrant le principe des sondes TDR

L : Longueur des tiges (m)

La permittivité relative mesurée du sol est fonction des permittivités de ses constituants, c'est à dire la permittivité du sol (ε_r =3 à 5), de l'air (ε_r =1) et de l'eau (ε_r =80). D'après les valeurs de permittivité de chaque constituant, il semble que la teneur en eau impose la permittivité globale. La permittivité est reliée à la teneur en eau volumique du sol (m^3 d'eau/ m^3 de sol), à partir de différentes formules empiriques (la plus utilisée étant la loi de Topp et all (1980)).

2.3.2 Equipements pour la collecte de l'eau infiltrée et l'évaluation de l'épuration potentielle par le sol

2.3.2.1 Lysimètres ouverts

Les « lysimètres ouverts » ou plaques lysimétriques sont des plaques placées horizontalement dans le sol, en profondeur. Ces plaques jouent le rôle de collecteur d'eau. L'eau collectée s'évacue par une canalisation connectée à la plaque, jusqu'à un bidon de stockage.

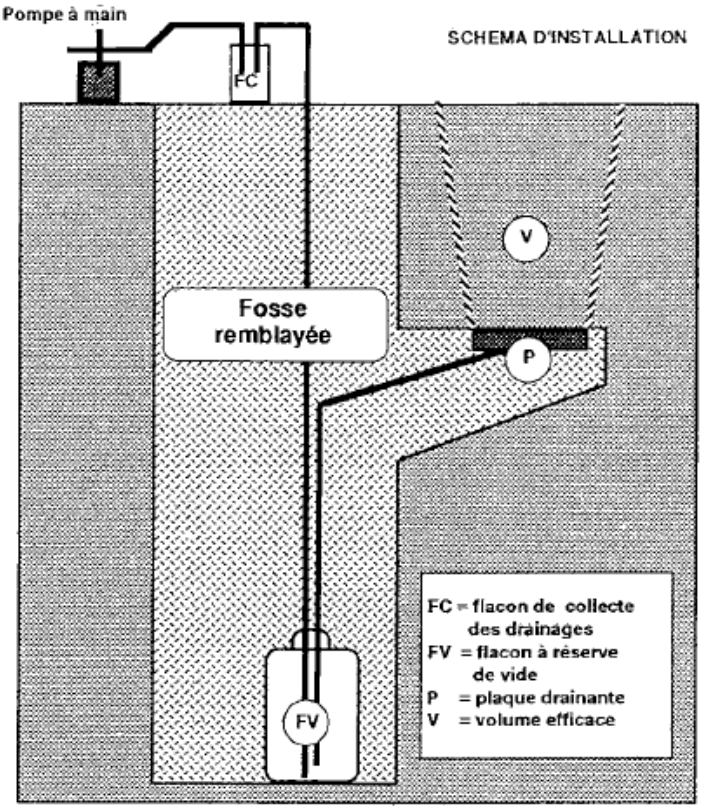
Les lysimètres ouverts de base sont de simples plaques qui interceptent l'eau gravitaire qui percole.

Les lysimètres à mèches en fibre de verre sont des lysimètres de base sur lesquels, une fibre de verre est en partie posée sur la plaque, au contact du sol alors que l'autre partie pend sous la plaque dans le tuyau d'évacuation à pression atmosphérique. Ceci simule une dépression et permet ainsi de prélever également l'eau capillaire.

D'autres lysimètres ouverts ressemblent plutôt à des assiettes en matériau poreux. Une pompe est reliée à ces assiettes. Elle permet soit de maintenir une légère aspiration égale à la tension du sol à la capacité au champ afin de ne prélever que l'eau gravitaire, soit, en augmentant l'aspiration, de prélever également l'eau capillaire.

L'eau collectée par les plaques lysimétriques est généralement stockée dans des bidons situés dans des regards en béton qui se trouvent dans le sol. La récupération de l'eau stockée peut ensuite se faire par aspiration à l'aide d'une pompe amovible au niveau du regard. Cette récupération doit se faire régulièrement si l'infiltration est importante.

a)



b)

e)

c)

d)

Figure 11: Schéma du principe de fonctionnement d'une plaque lysimétrique (a); photo d'une plaque lysimètre à mèche en fibre de verre (b) (c), d'une plaque lysimétrique en matériau poreux (d), d'un regard avec bidon de stockage (e).

Remarque : Il existe également des lysimètres fermés qui peuvent prélever l'eau gravitaire infiltrée. Ils sont principalement utilisés dans le domaine de l'agriculture pour déterminer l'évapotranspiration si le sol est planté ou l'évaporation si le sol est « nu ». Toutefois, ce système n'est pas adapté dans le cas des ZRV. De plus, il est très lourd à mettre en place en termes de travaux et de coûts.

2.3.2.2 Bougies poreuses (« lysimètre »)

Une bougie poreuse est composée d'une cupule poreuse cylindrique reliée à un tube. Le tout est hermétiquement fermé et traversé par un ou deux capillaires. L'extraction de la solution du sol se fait par mise en dépression directement à l'intérieur de la bougie poreuse ou par mise en dépression d'un réservoir situé à la surface est relié par un tuyau à la bougie. La dépression est générée via un pompe à main ou électrique. Elle doit être supérieure à la tension du sol pour que le gradient de charge créée fasse s'écouler l'eau depuis le sol vers l'intérieur de la cupule.

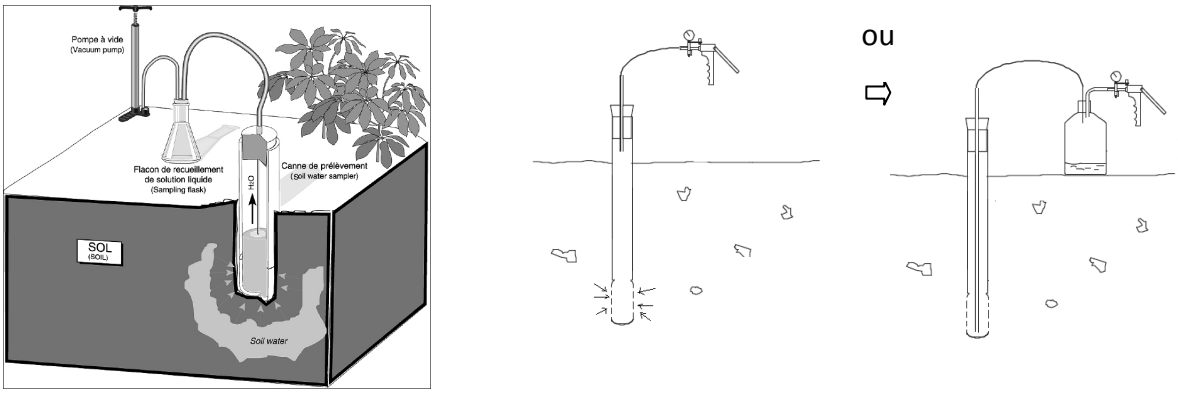


Figure 12: Schéma illustrant le principe de fonctionnement d'une bougie poreuse

La bougie est positionnée dans un trou effectué à l'aide d'une tarière ou d'un marteau à percussion. Le contact sol-bougie se fait par injection de boue obtenue avec la terre extraite.

Du fait de la variabilité spatiale de la concentration en un élément, il est nécessaire d'installer plusieurs bougies poreuses à la même profondeur et de faire une moyenne.

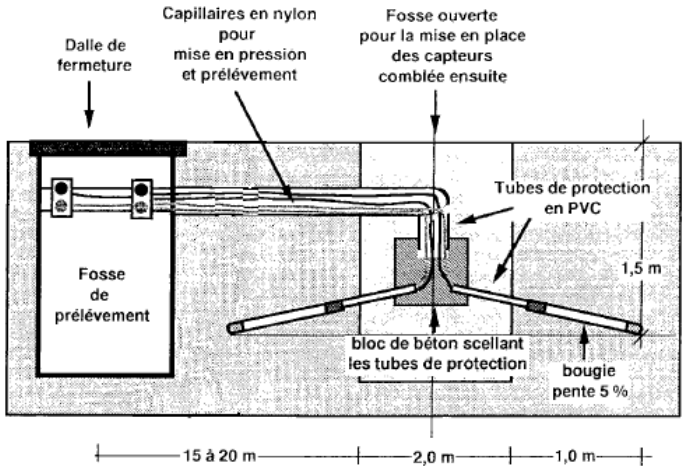


Figure 13: Schéma de mise en place d'un système de prélèvement de solution de sol par bougies poreuses.

La mise en œuvre est assez facile, les perturbations du sol sont plutôt faibles, en comparaison des plaques et cases lysimétriques. Le prélèvement est ponctuel. Quant aux prix, ils sont abordables mais peuvent fortement varier suivant les éléments à analyser dans l'eau prélevée par la bougie. En effet, suivant les composants à analyser, le matériau constituant la bougie est différent.

Les bougies poreuses en céramiques sont déconseillées pour l'analyse des éléments traces et plutôt réservées aux éléments majeurs : nitrate, chlorure, sulfate, calcium, sodium, ammonium, phosphore.

Le carbure de silicium et verre borosilicate sont conseillées pour l'analyse du COD (carbone organique dissous). On peut également utiliser celles en carbure de silicium pour les métaux traces et pesticides mais il est préférable d'utiliser celles en nylon-PE. Par contre le nylon-PE ne laisse pas passer le COD.

2.3.2.3 Piézomètres et piézomètres à pompe péristaltique

Le piézomètre est un ouvrage de petit diamètre permettant un accès à la nappe pour la mesure de la hauteur d'eau. Il s'agit en fait d'un petit puits qui permet de mesurer le niveau des nappes phréatiques.

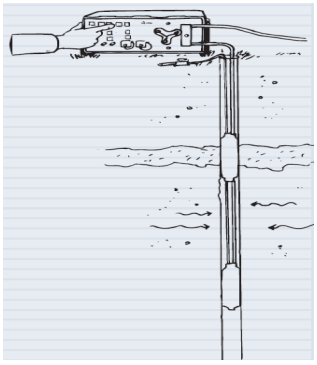


Figure 14: Principe de fonctionnement d'un pièzomètre à pompe péristaltique.

Dans le cas où le sol est saturé, il peut également nous permettre de prélever l'eau qui s'infiltre dans le sol, et ce à différents niveaux. Pour cela, une pompe et un tuyau muni d'une crépine sont utilisés.

Remarque : la crépine peut modifier la concentration en macro polluants de l'effluent prélevé.

Si le sol n'est pas saturé, certaines entreprises proposent un système comprenant une pompe péristaltique et des pakers. Les pakers sont des vessies gonflables qui permettent d'isoler une section à une profondeur donnée du piézomètre. Dans cette section, une dépression est faite à l'aide de la pompe et la solution du sol est prélevée. L'avantage de ce système est qu'il est amovible, permet des mesures ponctuelles, ne nécessite pas de travaux et ne pose pas de problème de contamination.

2.3.2.4 Drain – puits

Un système composé d'un drain et d'un regard peut suffire pour prélever les effluents infiltrés. En effet, il suffit de placer sous terre à une certaine profondeur un drain acheminant l'eau qui percole jusqu'à un puits.

Ce système, peu coûteux, collecte en permanence de l'eau gravitaire.

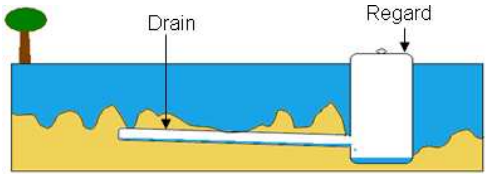


Figure 15: Système drain – puits

Les drains peuvent être installés à différentes profondeurs afin de mettre en évidence ou non, l'évolution de la qualité de l'effluent infiltré en fonction de la profondeur.

Remarque : dans le cas de ZRV en exploitation, ces instruments ne pourront être mis en place qu'en l'absence d'eau affleurante dans la ZRV.

2.3.3 Mesure indirecte de l'évapotranspiration

En générale, ce n'est pas l'évapotranspiration réelle (ETR) qui est mesurée mais l'évapotranspiration potentielle (ETP), aussi appelée évapotranspiration de référence (ETo).

L'ETP est mesurée, directement ou indirectement, sur un terrain avec un couvert de référence, généralement le gazon, dans des conditions précises. Cette normalisation évite de mesurer une évapotranspiration pour chaque culture, chaque état d'humidité, chaque « microclimat »…

Ensuite, l'évapotranspiration maximale (ETM), propre à une culture donnée, peut être calculée en multipliant l'évapotranspiration potentielle par un coefficient cultural, noté Kc.

Les coefficients culturaux ont été calculés pour certains végétaux. Les valeurs sont retrouvées sur le site du Centre d'Information Régional Agrométéorologie et Economique (CIRAME)[4].

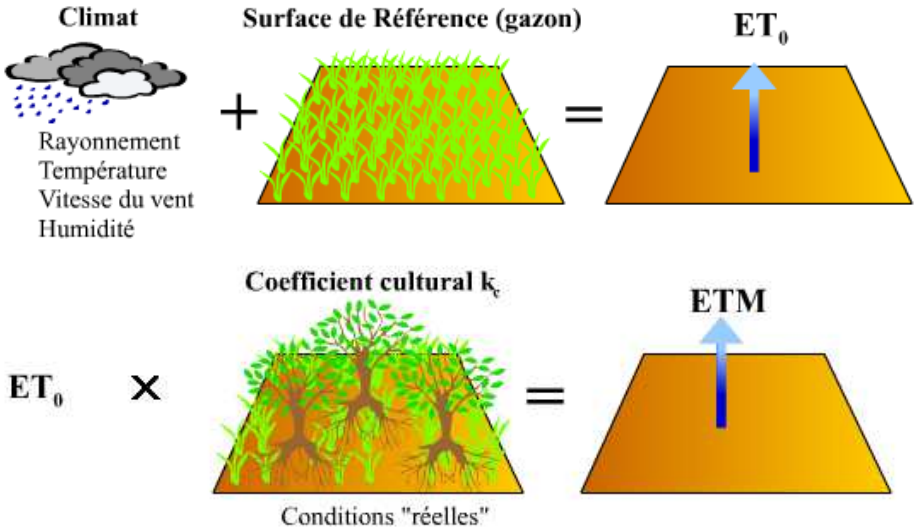


Figure 16: Schéma expliquant le calcul d' ETM

Dans le cas où la valeur du Kc n'est pas déterminée dans la littérature, des formules empiriques ou théoriques permettent, en combinant des paramètres climatiques, d'estimer l'ETP (formule de Penman-Monteih et Formule de Turc).

2.3.4 Mesure de perméabilité

Il existe de nombreux instruments de mesure de la perméabilité du sol. Les trois principales techniques sont présentées ici, chacune mesurant la perméabilité à différentes profondeurs. En effet, le sol étant une succession d'horizon, la perméabilité varie en fonction de la profondeur de sol.

Les techniques les plus communément utilisées sont:

- la méthode double anneau (NF X 30-418 à niveau constant) pour mesurer la perméabilité en surface
- le test de Porchet (NF X 30-423 à niveau variable ou NF X 30-424 à niveau constant) pour calculer la perméabilité à faible profondeur

[4] CIRAME Agrométéorologie. *Les besoins en eau des cultures*.**[en ligne].**
Disponible sur : < http://www.agrometeo.fr/coef_culturaux.asp>

- Le test en fosse pédologique pour mesurer la perméabilité à grande profondeur

Quelle que soit la méthode utilisée, les trois paramètres à mesurer sont :

- le volume introduit en L
- le temps correspondant exprimé en h
- la surface d'infiltration concernée en m².

Ces trois paramètres sont liés entre eux par la formule suivante :

$$\text{Coefficient de perméabilité } K \text{ (mm/h)} = \frac{\text{volume d'infiltration (L)}}{\text{surface d'infiltration (m²)} \times \text{durée du test (h)}}$$

Ces instruments mesurent la perméabilité à l'**eau claire** sur sol nu. K mesurée n'est donc pas exactement représentatif de la perméabilité du sol avec une eau surement plus chargé en MES et un couvert végétal. La méthode double anneau permettra de mesurer l'importance du colmatage.

2.4 Tableau de synthèse du compartiment sol :

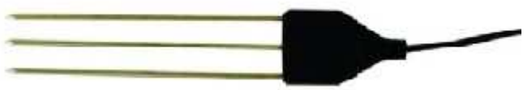
Le tableau n°4 présente l'ensemble des appareils qui peuvent être installés pour le compartiments sol : prélèvement de l'eau dans le sol, mesure de l'évapotranspiration, mesure de la perméabilité et mesure de la quantité d'eau infiltrée.

Il est difficile d'effectuer des préconisations d'installation pour les instruments de ce compartiment. En effet, les appareils présentés dans ce tableau ont un coût non négligeable (Annexe 4), auquel il faut ajouter leur coût d'installation et de mise en œuvre opérationnelle. De plus, la mise en place de ces appareils perturbent le sol et influent donc sur les performances de la ZRV. Ainsi, il ne peut pas être établi de généralités sur les préconisations d'installation de ces instruments de mesure : cela va principalement dépendre de la taille et de la capacité des sites à équiper.

Remarque : les appareils ne pourront être installés que sur des ZRV mise en service durant la période estivale ou lorsque un système de by pass de la zone est possible.

Tableau 4: Appareils de mesure pour le compartiment sol

	Mesure directe	Mesure indirecte	Avantages	Inconvénients	Photos
Prélèvement d'eau dans le sol	Plaques lysimétriques	-	Collecte d'eau dans le sol en continu. Obtention d'un échantillon assez représentatif	Perturbation du sol non négligeable lors de son installation. Investissement important	
	Bougies poreuses	-	Perturbe peu le sol. Généralement moins cher que casiers et plaques lysimétriques. Prélèvement ponctuel	Problème de représentativité car un faible volume d'eau est prélevé	
	Drain-regard	-	Coût peu élevé	Perturbation du sol lors de l'installation des drains. Prévoir un système réfrigérant pour les flacons de récupération d'eau filtrée	
	Piézomètre à pompe péristaltique	-	Prélèvement ponctuel Ne perturbe pas le sol si le piézomètre est déjà installé.	Eau stagnante détériore la qualité de l'eau.	
Mesure de l'évapotranspiration		Formule théorique de Penman (-Monteih)	Intéressante pour l'agriculture	Nécessite une station météo, doit être adapté au végétal considérée (Kc), ne peut pas être utilisée si plusieurs végétaux différents, mise en place (suivant taille des végétaux)	
		Formules empiriques		Nécessitent des ajustements et une station météo. Donne une estimation de la valeur.	

	Mesure directe	Mesure indirecte	Avantages	Inconvénients	Photos
Mesure de la perméabilité du sol	Infiltromètre de Müntz à double anneau	-	Test très simple, peu couteux en matériel et en temps. Nombreuses informations sur le fonctionnement hydrique des différents horizons du sol	Le sol étant un milieu hétérogène, il est nécessaire d'effectuer de nombreuses répétitions	
	Test de Porchet	-	Commode d'emploi sur le terrain	Ne donne pas la valeur exacte de la perméabilité mais un ordre de grandeur	
	Test en fosse pédologique	-	Détermination de la perméabilité du sol en profondeur	Perturbation du sol. Nécessite du matériel pour creuser la fosse	
Mesure de la quantité d'eau infiltrée	Sondes TDR et de résistivité	-	Permet d'obtenir une valeur exacte de la quantité d'eau infiltrée, valeur à utiliser dans le bilan matière	Système développé depuis peu et en cours d'évaluation. Coût à estimer.	

3 Sélection des sites pour l'étude

3.1 Bilan des ZRV sur AEAG.

L'un des objectifs du stage est de proposer des sites potentiels en vue d'un suivi expérimental sur le basin Adour Garonne. Dans un premier temps, l'Agence souhaitait pouvoir sélectionner des sites représentatifs des sols du bassin à partir de cartes de sol pré établies. Cette approche n'a pas été retenue car la typologie des sols et la perméabilité (phénomène important d'une ZRV) ne sont pas liées.

Au cours de l'année 2010-2011, le groupe de travail EPNAC a réalisé un fichier de recensement des ZRV sur le bassin Adour Garonne. Le fichier comprend, à ce jour, plus d'une centaines de ZRV recensées. Il constitue un outil de base permettant de sélectionner les ZRV les plus intéressantes pour notre étude. Une pré sélection des sites a été effectuée, à partir de ce fichier, en fonction de différents critères: une diversité dans les typologies de ZRV, la capacité de la STEU et sa charge hydraulique/organique, la présence ou non d'un rejet, la possibilité d'avoir une étude de sol, l'année de sa mise en service, le climat de chaque zone. Les SATESE de chaque département ont, par la suite, permis de confirmer ou d'infirmer les choix effectués.

28 sites ont été sélectionnés dans sept départements : la Corrèze, la Dordogne, les Landes, le Lot, le Lot et Garonne, le Tarn et le Tarn et Garonne. Les graphiques suivants présentent les caractéristiques des ZRV visitées, en fonction des données qui ont été fournies.

- Diversité dans les types de ZRV

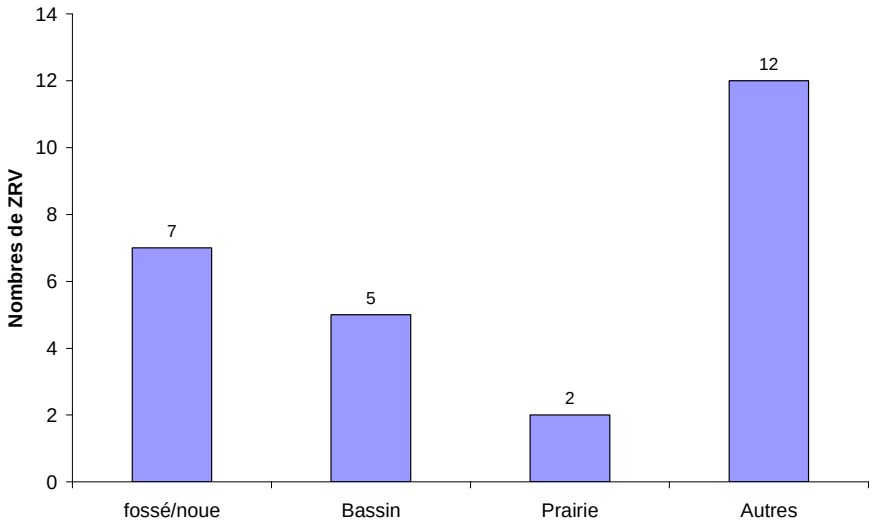


Figure 17: Nombres de ZRV en fonction de leur type

D'après ce graphique, tous les types de ZRV (selon le guide EPNAC) sont présents. Peu de prairies sont sélectionnées car ce type est assez rare. Au contraire, les ZRV de type « autres » sont plus nombreuses car elles prennent en compte les ZRV contenant des arbres (aulnes, saules), des associations de types…

- Critère de capacité de STEP

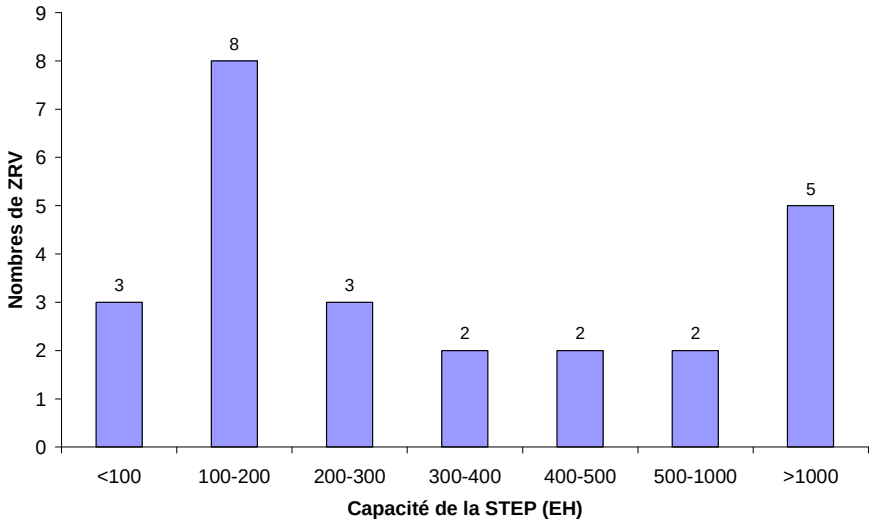


Figure 18: Nombres de ZRV en fonction de la capacité des STEP

D'après ce graphe, les ZRV sont installées en aval de STEP de valeurs de capacité très petites à grandes. Cependant, certains SATESE s'accordent à dire que placer une ZRV en aval de STEP de capacité supérieure à 500EH n'est pas judicieux car le débit à traiter est trop grand, cela nécessiterait une surface de ZRV trop importante. D'autres SATESE, au contraire, n'hésitent pas à installer des zones en aval de STEP de grandes capacités, mettant en avant la fonction de traitement complémentaire possible de la ZRV, tout en créant une zone de biodiversité.

- Critère sur le rejet

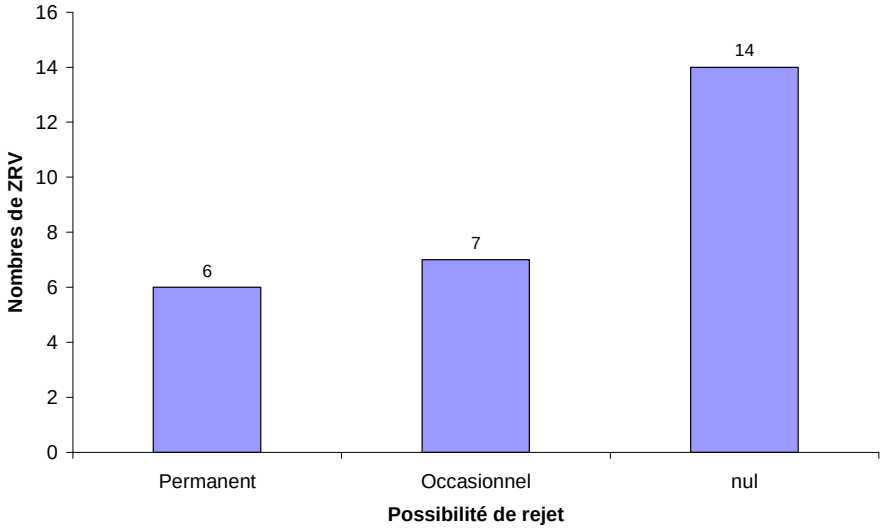


Figure 19: Nombres de ZRV en fonction des rejets

Le critère de rejet est important pour l'étude. En effet, lors d'un rejet nul, il n'est pas nécessaire d'équiper la ZRV en équipement de flux sortant, mais plutôt de privilégier les équipements concernant l'infiltration, l'évaporation et l'évapotranspiration. Au contraire,

lors d'un rejet permanent, un équipement sur le débit de sortie est nécessaire. Les visites permettent de rencontrer chaque configuration et d'étudier quels équipements sont les plus aptes à être utilisés.

- ZRV d'années de mise en service différentes.

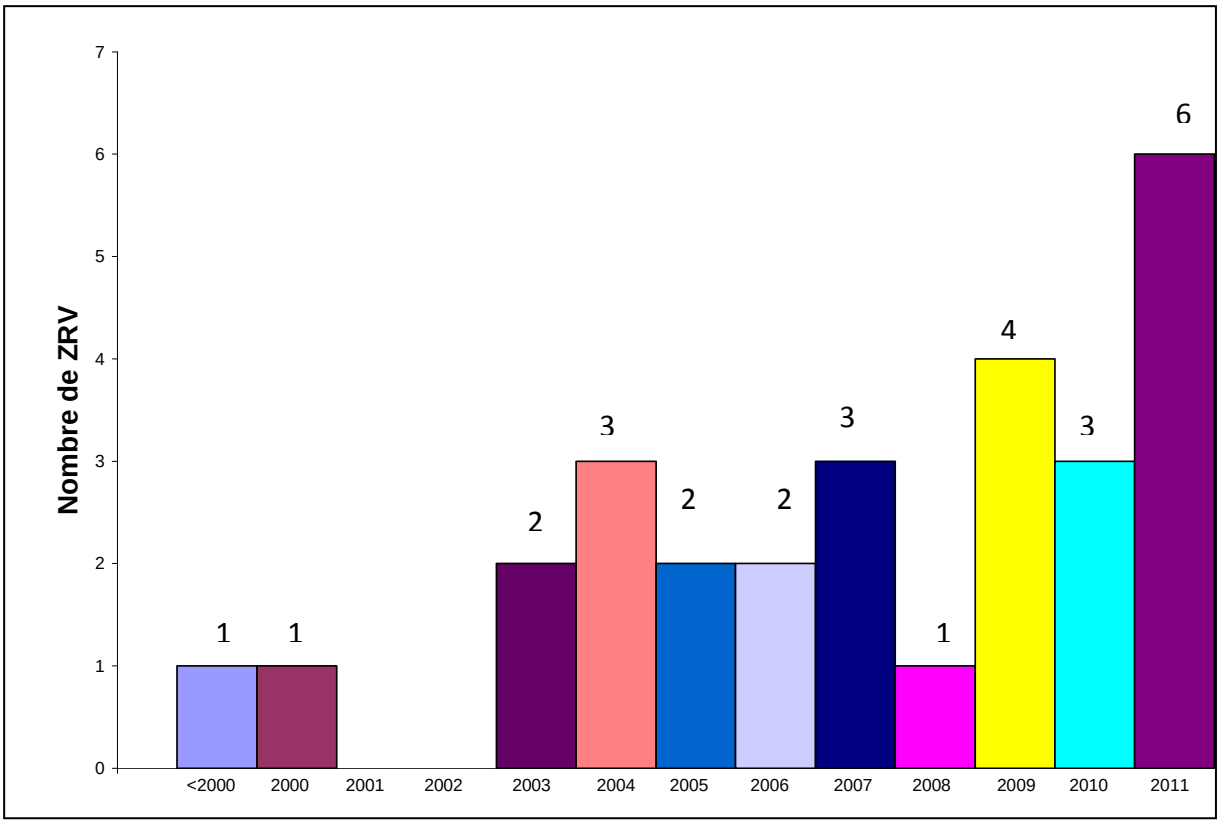


Figure 20: Nombres de ZRV en fonction de leur année de mise en route

Ce graphe met, tout d'abord, en évidence que la technologie des ZRV est récente (depuis le début des années 2000) et est en pleine expansion.

Le critère « année de mise en service des ZRV » est important car il peut être intéressant d'étudier des zones qui ont plusieurs années d'exploitation. Elles offrent un retour d'expérience plus complet (dysfonctionnements rencontrés, résultats des suivis).

3.2 Sélection des sites pour étude après retour terrain

Chaque ZRV visitée est présentée dans une fiche résumé, en annexe.

En règle générale, les agents des SATESE avec lesquels nous avons effectués les visites, sont satisfaits des ZRV qui ont été installées dans leur département. Peu de dysfonctionnements ont été rencontrés. Les ZRV sont principalement considérées comme des zones tampon pour limiter la pollution du milieu récepteur. Par ailleurs, les ZRV seraient un moyen de créer une zone humide riche en biodiversité, qui s'intègre bien au paysage et qui permettraient de préserver la géomorphologie des cours d'eau (berges).

Les ZRV dans le département du Lot sont aussi beaucoup utilisées comme traitement tertiaire au niveau de la bactériologie. En effet, ce département, très touristiques, présentent de nombreux lieux de baignades, où se rejettent directement les effluents des STEU. LE SATESE du Lot effectue un suivi important de ces zones pour évaluer le pouvoir des UV sur les bactéries dans les ZRV. Les premiers suivis ont montré des résultats favorables concernant l'épuration bactériologique.

Suite à ces visites, certaines ZRV ont été sélectionnées pour faire l'objet de suivis. Les critères de sélection sont basées sur :

- la typologie de la ZRV : le suivi devra être effectué sur toutes les typologies de ZRV afin d'étudier tous les mécanismes se déroulant dans ces zones.
- la présence ou non d'un rejet, dans le but d'équiper des zones principalement en mesure de débits entrée/sortie ou de privilégier les équipements concernant l'infiltration, l'évaporation et l'évapotranspiration.
- le coefficient de perméabilité du sol : il est préférable que le suivi soit effectué sur toutes les catégories de sol afin d'étudier l'influence de la perméabilité des sols sur l'efficacité épuratoire.
- Les charges hydrauliques et organiques, dans le but de tester des ZRV dont les STEP reçoivent la charge pour lesquelles elles ont été conçues.
- Les équipements déjà présents sur le site.

Le tableau suivant résume les caractéristiques des ZRV sélectionnées.

Tableau 5: Caractéristiques des ZRV sélectionnées

Site sélectionné	Capacité STEU (EH)	Typologie	Possibilité de rejet	Perméabilité du sol	Charge		Equipement existant
					Hydraulique (%)	Organique (%)	
Arcambal (46)	1000	Bassins d'infiltration	Non	Médiocre (K= 20 mm/h)	72.2	57.58	Mise en place d'un canal de mesure Venturi en sortie de station
Bascons (40)	300	Bambouseraie	-	Imperméable (K=0,4 mm/h à court terme, K=0,8 mm/h à long terme)	-	-	Mise en place de canaux Venturi amont/aval de la zone
Brousse (81)	150	Bassin d'infiltration	Occasionnel	Pas de test de perméabilité effectué sur le site mais le sol est argileux, la perméabilité est mauvaise	96	110	Aucun
Caillac (46)	5000	Fossé/noue	Oui	K= Appeler SYNDICAT DE LA VALLEE DE REIGNAC	62.8	45	Canal Venturi en aval
Gasques (82)	180	Association	Oui	Sol très peu perméable.	33	30.5	Possibilité de mettre en place un auget basculeur en sortie de zone
Puch d'Agenais (47)	190	Fossé/noues avec Aulnes	Oui	Pas de test de perméabilité effectué sur le site	77	71	Aucun
Rouffiac (24)	1000	Prairie/fossés	Oui	Sol de perméabilité médiocre	41	43	Mise en place d'un déversoir mince paroi de type triangulaire en sortie de zone
Souillac (46)	8500	Bassin	Oui	Assez perméable	45	32	Mise en place d'un canal Venturi en entrée de zone et déversoir mince paroi de type triangulaire en sortie de zone.
St Pardoux l'Hortigier (19)	125	Association	Oui	Pas de test de perméabilité effectué sur le site. Le sol est argileux donc l'infiltration est faible	125	55	Mise en place d'un déversoir mince paroi de type triangulaire en sortie de zone

Tableau 6: Proposition de matériels de suivi

ZRV	Proposition de suivi	Compartiment Eau			Compartiment sol		
		Mesure de débit		Echantillonneurs	Masse d'eau infiltrée	Collecte d'eau infiltrée	Suivi de la perméabilité
		Entrée	Sortie				
Arcambal (46)	Bilan 24h	Présence d'un canal venturi en sortie de STEU	Non car pas de milieu récepteur	Préleveur automatique en entrée de station.	Sondes TDR et de résistivités (by-passer la zone pour installation)	Etant donné que le site se situe près du Lot, la nappe souterraine doit être proche de la surface. La question se pose d'installer du matériel de suivi de l'eau infiltrée	Cette ZRV n'est en service que durant la période estivale, des tests de suivi de la perméabilité du sol pourront être effectués lorsque la zone n'est pas en activité.
Bascons (40)	Bilan 24h	Présence d'un canal Venturi	Présence d'un canal Venturi mais il serait préférable d'avoir un déversoir mince paroi	Préleveur automatique en entrée de station.	Le sol étant imperméable, il n'est pas nécessaire de mettre en place un équipement.	Mise en place de drains suivis de regards de collecte.	Cette ZRV va être mise en service toute l'année. Les tests de suivi de perméabilité ne pourront pas être effectués. Il est toutefois prévu par le BE en charge du dimensionnement que K=0,8 mm/h à long terme)
Brousse (81)	Bilan 24h	Mise en place d'un canal déversoir à mince paroi de type triangulaire	Mise en place d'un canal déversoir à mince paroi de type triangulaire	Préleveur automatique en entrée/sortie de station, dans le cas où le débit de rejet est suffisamment important	Le sol étant peu perméable, il n'est pas nécessaire de mettre en place un équipement.	Lors des sondages effectués à une profondeur de 3.5m à 4.9m de profondeur, aucune venue d'eau n'a été rencontrée. Des drains suivis de regards de collecte peuvent être installés.	Cette ZRV est mise en service toute l'année. Les tests de suivi de perméabilité ne peuvent pas être effectués.
Caillac (46)	Bilan en continu	Présence d'un canal Venturi et d'un capteur à ultrason pour suivi en continu	Mise en place d'un déversoir à mince paroi de type triangulaire avec capteur à ultrason pour suivi en continu (problème d'apport électricité)	Préleveur automatique en entrée et sortie de station	Sondes TDR et de résistivités (à installer lorsque la ZRV n'est pas en service)	Etant donné que le site se situe à proximité immédiate du Lot, la nappe souterraine doit être proche de la surface. La question se pose d'installer du matériel de suivi de l'eau infiltrée	Cette ZRV n'est en service que durant la période estivale, des tests de suivi de la perméabilité du sol pourront être effectués lorsque la zone n'est pas en activité.
Gasques (82)	Bilan 24h	Mise en place d'un canal déversoir à mince paroi de type triangulaire	Possibilité d'installation d'un auget basculant	Préleveur automatique en entrée/sortie de station, dans le cas où le débit de rejet est suffisamment important	Le sol étant peu perméable, il n'est pas nécessaire de mettre en place un équipement.	Mise en place de drains suivis de regards de collecte le long du fossé.	Cette ZRV est mise en service toute l'année. Les tests de suivi de perméabilité ne peuvent pas être effectués.
Puch d'Agenais (47)	Bilan 24h	Mise en place d'un canal déversoir à mince paroi de type triangulaire	Mise en place d'un canal déversoir à mince paroi de type triangulaire	Préleveur automatique en entrée et sortie de station	Le sol semble très imperméable, il n'est pas nécessaire de mettre en place un équipement.	Etant donné que le sol semble très imperméable, des drains suivis de regards de collecte sont suffisants.	Cette ZRV n'est en service que durant la période estivale, des tests de suivi de la perméabilité du sol pourront être effectués lorsque la zone n'est pas en activité.
Rouffiac (24)	Bilan 24h	Mise en place d'un canal déversoir à mince paroi de type triangulaire	Présence d'un canal déversoir à mince paroi de type triangulaire	Préleveur automatique en entrée/sortie de station, dans le cas où le débit de rejet est suffisamment important	Sondes TDR et de résistivités (à installer lorsque la ZRV n'est pas en service)	Mise en place de drains suivis de regards de collecte le long du fossé.	Cette ZRV n'est en service que durant la période estivale, des tests de suivi de la perméabilité du sol pourront être effectués lorsque la zone n'est pas en activité.
Souillac (46)	Bilan en continu	Présence d'un canal Venturi	Présence d'un canal déversoir à mince paroi de type triangulaire	Préleveur automatique en entrée et sortie de station	Etant donné que cette ZRV est en service toute l'année, il n'est pas possible d'installer des sondes TDR et de résistivités.	Mise en place de bougies poreuses et de cases lysimétriques pour avoir un échantillon représentatif.	Cette ZRV est mise en service toute l'année. Les tests de suivi de perméabilité ne peuvent pas être effectués.
St Pardoux l'Hortigier (19)	Bilan 24h	Mise en place d'un canal déversoir à mince paroi de type triangulaire	Présence d'un canal déversoir à mince paroi de type triangulaire	Préleveur automatique en entrée et sortie de station	Le sol étant peu perméable, il n'est pas nécessaire de mettre en place un équipement.	Etant donné que le sol semble très imperméable, des drains suivis de regards de collecte sont suffisants.	Cette ZRV est mise en service toute l'année. Les tests de suivi de perméabilité ne peuvent pas être effectués.

Les propositions présentées dans ce tableau sont à affiner en fonctions des objectifs assignés à la zone, notamment pour les sondes TDR et de résistivités dont les coûts de mise en œuvre restent à évaluer. Si l'objectif est d'avoir une estimation de l'épuration complémentaire dans les ZRV, l'évaluation des masses d'eau infiltrée n'est sans doute pas nécessaire.

4 Quelques propositions pour le dimensionnement de la ZRV

Actuellement, la grande majorité des ZRV est installée sur l'espace laissé disponible après l'installation de la STEU, sans dimensionnement préalable. En effet, la législation n'étant pas très précise sur ces zones, leur réalisation est uniquement basée sur des connaissances en assainissement et des observations du fonctionnement des milieux naturels. L'objectif de l'agence de l'eau Adour Garonne est de proposer un cahier des charges de dimensionnement et de suivi des ZRV.

Pour effectuer un dimensionnement de la ZRV, il est tout d'abord nécessaire de réaliser les études recommandées par le guide EPNAC « de préconisation du contenu des études préalables à la réalisation d'une Zone de Rejet Végétalisée ». Ce guide demande, entre autres, une étude de la perméabilité du sol. Plusieurs tests doivent être effectués sur la zone, une valeur moyenne du coefficient de perméabilité est alors prise en compte. La surface de la ZRV à prévoir est déterminée à partir du bilan :

$$Q_e + Q_{pluie} = \frac{dV}{dt} + Q_s + Q_{ET} + Q_E + Q_I$$

4.1 Calcul de la surface de la ZRV en fonction des objectifs attendus :

4.1.1 L'objectif de la zone est un rejet 0 en période estivale:

La surface de la ZRV doit être calculée dans des conditions les plus défavorables, c'est-à-dire en cas de pluie, où l'évaporation et l'évapotranspiration sont nulles.
Le bilan devient alors :

$$\frac{dV}{dt} = Q_e + Q_{pluie} - Q_I$$

$$S_{ZRV} \times \frac{dh}{dt} = Qe + K_{pluie} \times S_{ZRV} - K_i \times S_{ZRV}$$

$$S_{ZRV} \times (\frac{dh}{dt} + K_i - K_{pluie}) = Qe$$

$$S_{ZRV} = \frac{Qe}{(\frac{dh}{dt} + K_i - K_{pluie})}$$

K_i : coefficient de perméabilité moyen (m/h)
h_{eau} : hauteur de la lame d'eau (m)
K_{pluie} : coefficient de précipitations (mm/h).

Le coefficient de précipitation peut être estimé comme la valeur moyenne des maximas des précipitations sur la zone (au cours des années précédentes), pour la même période de temps.

La valeur de la perméabilité varie le long de la ZRV. De plus, elle risque d'évoluer lorsque la ZRV sera mise en service. L'hypothèse est faite que la valeur de K_i est égal à la moyenne des valeurs obtenues par les tests de perméabilité effectué sur la ZRV.

- *Exemple de dimensionnement : Arcambal (1000 EH, charge hydraulique 72.2%)*

K_i =0.02 (mm/h)
$\frac{dh}{dt}$ =0.03 (m)
K_{pluie} =0.0005 (m/h)

$$Qe = \frac{1000 \times 0.15 \times 0.722}{24} = 4.51(m^3/h)$$

Remarque : 1EH = 0.15m³/j

$$S_{ZRV} = \frac{4.51}{(0.03 - 0.0005 + 0.02)}$$
$$S_{ZRV} = 92(m^2)$$

Cette ZRV a été installée à partir de la place qui était disponible, sans dimensionnement : $S_{ZRV}\,réelle$ =1000 m².

La valeur calculée est une valeur indicative de la surface à proposer pour la construction de la ZRV, du fait des nombreuses hypothèses effectuées.

4.1.2 L'objectif de la zone est un lissage du débit

Une ZRV peut également être installée en aval de la STEU afin de limiter l'impact des débits trop importants des effluents sur le milieu extérieur. Le débit en sortie n'est donc pas négligé mais doit être inférieur au débit des effluents en entrée de zone.

Le dimensionnement doit être effectué pour des conditions les plus défavorables : l'évaporation et l'évapotranspiration sont négligés.

Le bilan devient donc :

$$\frac{dV}{dt} = Q_e - Q_s + Q_{pluie} - Q_I$$

$$S_{ZRV} \times \frac{dh}{dt} = Qe - Q_s + K_{pluie} \times S_{ZRV} - K_i \times S_{ZRV}$$

$$S_{ZRV} \times (\frac{dh}{dt} + K_i - K_{pluie}) = Qe - Q_s$$

$$S_{ZRV} = \frac{Qe - Q_s}{(\frac{dh}{dt} + K_i - K_{pluie})}$$

Exemple de dimensionnement : Caillac (5000 EH, charge hydraulique 62.8%)

K_i =0.025 (m/h)

h_{eau}=0.05 (m)

K_{pluie} =0.0005 (m/h)

$$Qe = \frac{5000 \times 0.15 \times 0.628}{24} = 19.6(m^3/h)$$

Remarque : 1EH = 0.15m³/j

Q_s =5(m^3/h)

$$S_{ZRV} = \frac{19.6 - 5}{(0.05 + 0.025 - 0.0005)}$$

$$S_{ZRV} = 196(m^2)$$

Cette ZRV a été installée à partir de la place qui était disponible, sans dimensionnement : $S_{ZRV}\,réelle$ =4500 m².

4.2 Recommandations sur la géométrie des ZRV

L'un des objectifs d'une ZRV est de créer une zone de biodiversité. Cette dernière doit donc être la plus naturelle possible. Voici une liste des recommandations (proposées par les SATESE lors des visites ou par la plaquette de l'agence de l'eau Rhin-Meuse) qui peuvent être prises en compte lors du dimensionnement d'une ZRV :

- Installation de la ZRV sur le sol en place.
- Privilégier des aménagements sinueux.
- Favoriser des berges aux pentes douces.
- Prioriser des vitesses faibles d'écoulement des effluents, pour augmenter le temps de séjour et ainsi favoriser l'infiltration, l'évaporation et l'évapotranspiration dans la ZRV.
- Eviter des zones d'eau stagnante où pourrait se développer des lentilles d'eau ou des larves de moustiques.
- Privilégier une alternance des profondeurs dans la ZRV: des zones peu profondes où l'action des UV est possible et des zones un peu plus profondes (jusqu'à 80cm). Une plus grande variété de faune et de flore pourra ainsi se développer.

- Eviter des profondeurs de ZRV trop importantes, notamment pour des sols peu perméables. En général, plus la profondeur du sol augmente, moins le sol est perméable (présence d'argile ou des matériaux peu perméables).
- Possibilité de créer des chutes entre les aménagements pour réoxygéner le milieu.

CONCLUSION

Depuis le début des années 2000, la mise en place de ZRV en aval des stations d'épuration est en pleine expansion sur le bassin Adour Garonne. Ces dernières ont pour objectif principal de limiter l'impact des eaux traitées et non traitées sur le milieu récepteur.

Les ZRV ne sont pas considérée à ce jour, comme un procédé réel de traitement. En effet, les niveaux de qualité du rejet portent sur les effluents en sortie de la station d'épuration et non sur les rejets de la ZRV. Ainsi, le suivi sur ces zones reste très limité et leur efficacité est méconnue.

Les ZRV sont composées de trois compartiments clés : le sol et sous sol, les végétaux et l'eau de surface. Différents mécanismes sont en jeu dans chaque compartiment. Dans le compartiment « sol/sous-sol » se déroule le phénomène d'infiltration. Dans le compartiment « végétaux » se déroule le phénomène d'évapotranspiration et d'assimilation par les plantes et leurs bactéries. Enfin dans le compartiment « eau de surface » se déroule le phénomène d'évaporation.

Ce stage a permis de recenser les équipements possibles, à installer sur les trois compartiments de la ZRV, afin de mettre en place un suivi des ZRV. Ces appareils permettront de déterminer les mécanismes prépondérants dans la zone, de quantifier l'efficacité réelle des zones et d'estimer l'impact environnemental des ZRV sur le milieu extérieur.

Une sélection de sites les plus intéressants pour notre étude a été réalisée sur le bassin Adour Garonne. Cette sélection fait suite aux visites qui ont été effectuées sur la plupart des départements d'Adour Garonne. Le choix a été fait à partir de différents critères : typologie des ZRV, possibilité ou non d'un rejet, charge de la STEU, coefficient de perméabilité du sol… Ceci dans le but d'obtenir un large panel de ZRV, présentant des caractéristiques différentes. Une dizaine de sites sont ainsi choisis dans l'optique de mettre en place un suivi de ces zones (projet d'étude à maitrise d'ouvrage agence).

Les ZRV étant des espaces ouverts, non étanchéifiés, il semble difficile d'effectuer un bilan correct sur les zones. Elles sont, la plupart du temps, installées en aval des STEU de petites capacités. L'arrivée d'eau parasitaire, non négligeable et non quantifiable, fausse le bilan et par conséquent, le rendement épuratoire de la zone. Un suivi complet de ZRV ne semble être possible que sur des sites ayant un débit d'entrée et de sortie significatif. Dans tous les cas, un suivi amont/aval sur le milieu récepteur est indispensable pour déterminer l'impact du site sur l'environnement.

Il serait ainsi intéressant de pouvoir quantifier la réelle efficacité des ZRV, d'autant que leur coût d'installation et leur consommation d'énergie est faible (entretien de la zone uniquement). C'est pourquoi, l'amélioration des protocoles d'élaboration et de suivi des ZRV est primordiale pour pouvoir réglementer ces zones et proposer un cahier des charges de choix et de dimensionnement des ZRV.

BIBLIOGRAPHIE

BOUTIN Catherine. *« Point sur les Zones de Dissipation Végétalisées : Vers une protection supplémentaire du milieu récepteur de surface ? ».* Cemagref, groupement de Lyon. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. 2009

« *Constat sur les Zones de Dissipation Végétalisées: Positionnement de l'atelier thématique EPNAC ».* Groupe de travail sur l'Evaluation des Procédés Nouveaux d'Assainissement des petites et moyennes Collectivités. Groupe de travail EPNAC. Mai 2010.

« Les zones de rejets intermédiaires : Des procédés naturelles pour réduire l'impact du rejet des stations d'épuration sur les milieux aquatique». ARPE Provence-Alpes-Côte d'Azur. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. 2009.

« Contenu des études préalable à la réalisation d'une Zone de Rejet Végétalisée ». Document intermédiaire. Groupe de travail sur l'Evaluation des Procédés Nouveaux d'Assainissement des petites et moyennes Collectivités. Groupe de travail EPNAC. Mars 2011.

BOUTIN Catherine. Fiche technique. *Points sur les zones de rejet végétalisées : mécanismes et premières tendances.* ONEMA. Novembre 2010. **.[en ligne]**.
Disponible sur :< https://epnac.cemagref.fr/documentation/documents-pdf/documentation.2011-06-08.7222208604/>

« Mise en œuvre de l'autosurveillance des stations d'épuration ». L00503a. Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Agence de l'eau Adour Garonne. Office International de l'Eau. Juillet 2003.

« *Guide de l'autosurveillance des systèmes d'assainissement* ». Etude inter-agences n°50. Agences de l'eau. Ministère de l'environnement.

« Autosurveillance des réseaux d'assainissement : Aspect réglementaire et mise en œuvre». ER6607a. Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Agence de l'eau Adour Garonne. Office International de l'Eau. Octobre 2007.

« Autosurveillance :Notions de métologie ». LP0805a. Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau. Agence de l'eau Adour Garonne. Office International de l'Eau. Septembre 2005.

Entreprise SDEC France, Solution Technologique pour l'environnement**.[en ligne]**. Disponible sur :< http://www.sdec-france.com/>

*Chapitre 4: Evaporation et interception***.[en ligne]**. Disponible sur :<http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre4/chapitre4.html >

Entreprise Sols Mesures. *Instruments, systèmes et services pour la géotechnique et l'agronomie***.[en ligne]**. Disponible sur :< http://www.sols-mesures.com/>

Muller, Jean Charles. « *30 ans de lysimétrie en France (1960-1990)* ».1996.

INRA Toulouse. *Installation de plaques lysimétriques sur les parcelles d'Auzeville*.**[en ligne]**. Disponible sur :< http://www4.inra.fr/micmac-design/Actualites/Installation-plaques-lysimetriques>

WYSS, Alain. *Contrôle technique des installations de mesures de débits, étalonnage et jaugeage.* Service des contrôles de l'assainissement de l'Etat de Genève**.[en ligne]**. Disponible sur :< http://www.grese.ch/Document/Docu/debit.pdf>

DEREUMAUX, Pascal. *Mesure et capteurs de débit*.**[en ligne]**. Disponible sur :< http://www.stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/dereumaux/mesurdebit.htm#vortex>

Etude RECORD n°06-1015/1A. *Surveillance des eaux souterraines dans le contexte des sites pollués.* Chap 5. **.[en ligne]**. Disponible sur :< http://www.record-net.org/record/etudesdownload/record06-1015_1A.pdf>

Les méthodes traditionnelles de mesure de profils hydriques de sols.**[en ligne]**. Disponible sur :< http://medhycos.mpl.ird.fr/en/t1.tecisensorsi&gn=tdr.inc.html>

GAIDI, Laouni. Transfert par infiltration de l'eau et du soluté dans les sols non saturés-utilisation de la méthode TDR-. *Chapitre 2 : mesures TDR et calibration des sondes.* INSA Lyon. 2002**.[en ligne]**. Disponible sur :< http://docinsa.insa-lyon.fr/these/2002/gaidi/chapitre2.pdf>

ANNEXES

ANNEXE 1 : LISTE DES PLANTES ADAPTEES AUX MILIEUX HUMIDES 48
ANNEXE 2: APPAREILS DE MESURE DE DEBIT 49
ANNEXE 3: TABLEAU GENERAL DE RECOMMANDATION POUR LE PRELEVEMENT D'ECHANTILLONS . 60
ANNEXE 4 : ORDRE DE PRIX DES APPAREILS DE MESURE A INSTALLER DANS UNE ZRV. 61

Annexe 1 : Liste des plantes adaptées aux milieux humides[5]

[5] Mangeot,Pierre.,Laloë, Julien. *Aménagements des milieux naturels en aval de station d'épuration, Zone de rejet végétalisée.* Juillet 2011. Agence de l'eau Rhin-Meuse.

Hélophytes (milieu semi aquatique : « les pieds dans l'eau »)	Plantes pour prairies humides « fleuries »	Arbres et arbustes buissonants des zones humides
Baldingère	Agrostide stolonifère	Aulne glutineux
Glycérie aquatique	Cardamine des près	Chene pédonculé
Iris des marais	Centaurée jacée	Frene élevé
Jonc épars	Epilobe à petites fleurs	Fusain d'Europe
Jonc fleuri	Gesse des près	Noisetier
Jonc des chaisiers	Lotier des fanges	Saule blanc
Laiche aigue	Lychnide fleur-de-coucou	Saule cendré
Massette à larges feuilles	Lysimaque nummulaire	Saule des vanniers
Roseau à balais	Luzerne lupuline	Sureau noir
Rubanier dressé	Menthe aquatique	Viorne obier
Rubanier	Millepertuis perforé	
Simple	Populage des marais	
Salicaire commune	Renoncule flammette	
	Renoncule rampante	
	Trèfle des prés	
	Trèfle rampant	
	Vesce à épis	

ANNEXE 2: Appareils de mesure de débit

<u>Débitmètre électromagnétique</u>

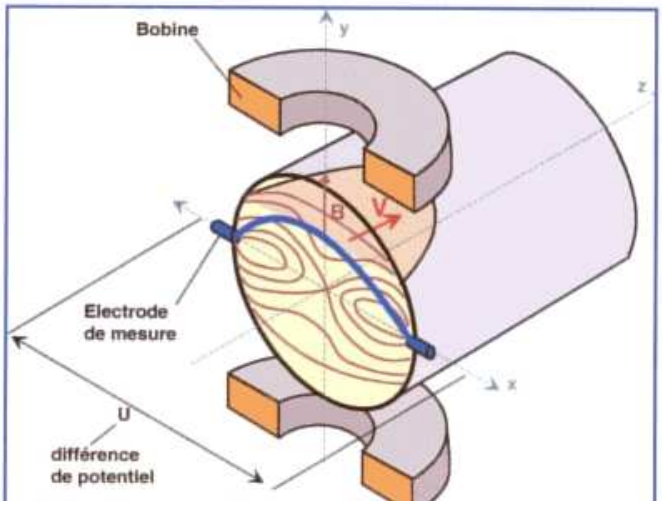


Schéma d'un débitmètre électromagnétique : coupe du tuyau dans le plan des électrodes (d'après une documentation Fisher et Porter) B : intensité du champ magnétique, V : vitesse moyenne du fluide.

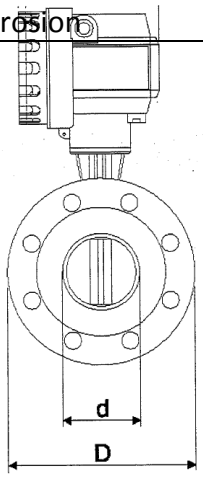
Un champ magnétique est créé par des bobines dans la canalisation. Le liquide qui le traverse crée une force électromotrice entrainant une différence de potentiel, directement proportionnelle à la vitesse du fluide. La loi générale peut s'écrire :

$$u = B \times L \times V$$

u : différence de potentiel en mV
B : amplitude du champ magnétique
L : diamètre de canalisation
V : Vitesse de déplacement du fluide

Afin de mesurer la vitesse moyenne du fluide, le débitmètre doit se situer sur une longueur droite de canalisation.

Avantages	Inconvénients
- Très bonne précision de la mesure (de l'ordre de 1% pour des vitesses supérieures à 1 m/s) - La mesure n'est pas influencée par les caractéristiques du fluide (température, pression…) - Les liquides peuvent être chargés - Bonne résistance à la corrosion	- L'appareil doit être placé verticalement dans la plupart des cas. - Prix élevé.



<u>Débitmètre à effet vortex :</u>

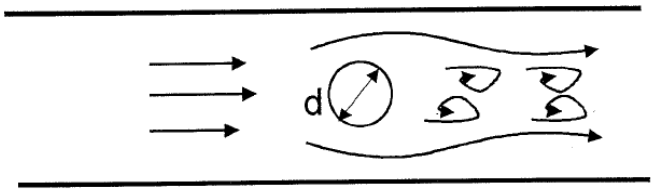


Schéma de l'écoulement dans un débitmètre à effet Vortex

Un obstacle placé au centre de la canalisation crée un mouvement oscillatoire au sein du fluide. En fonction de sa vitesse et de sa viscosité, il se formera une série de vortex. Pour des nombres de Reynolds supérieurs à 55, les tourbillons se détachent. La fréquence de détachement des vortex est alors reliée par une relation mathématique à la vitesse d'écoulement du fluide, selon la formule de Strouhal :

$$S_t = f \times \frac{d}{V}$$

St : nombre de Strouhal
f : fréquence en Hz
V : vitesse en m/s
d : diamètre de l'obstacle (m)

La fréquence des tourbillons est mesurée à l'aide de capteurs de pression ou des jauges de contraintes, traduisant les vibrations au niveau du capteur en signal électrique.

Avantages	Inconvénients
- Coût relativement faible	- Longueur droite en amont >20DN et jusqu'à 40DN après deux coudes à 90° - Domaine d'utilisation limité pour les viscosités élevées et les liquides chargés.

Débitmètre à ultrason ou à différence de temps de transit

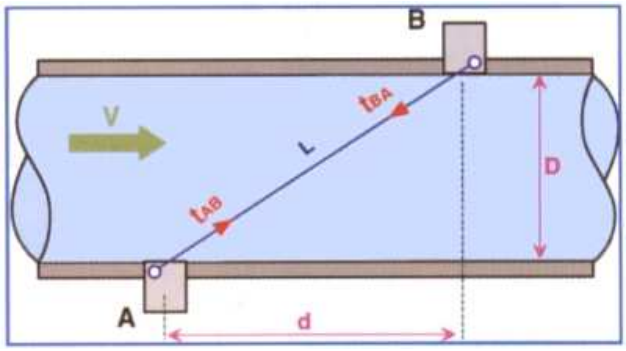


Schéma d'un débitmètre à ultrason (Office International de l'Eau).
L : fréquence d'émission, A et B : émetteur et recepteur, V : vitesse d'écoulement du fluide à mesurer, t_{AB} : temps de parcours des ondes sonores du point A à B, t_{BA} : temps de parcours des ondes sonores du point B à A

La caractéristique de la variation de la vitesse du son dans un fluide est ici utilisée. Un signal sinusoïdal est envoyé d'une sonde émettrice à une sonde réceptrice. Le temps de transit entre ces deux sondes dépend de la vitesse d'écoulement du fluide. La mesure est réalisée en deux temps :

$$V_m = G_k \times \frac{t_{BA} - t_{AB}}{t_{AB} \times t_{BA}}$$

Vm : Vitesse moyenne du fluide
Gk : constante d'étalonnage
t_{AB} : temps de parcours des ondes sonores du point A à B
t_{BA} : temps de parcours des ondes sonores du point B à A

Avantages	Inconvénients
- Bonne précision de mesure - Installation portable simple - Large gamme de débit - coût avantageux uniquement pour des diamètres de canalisation >1000m	- Utilisable sur fluide peu chargé - Difficile à étalonner - Nécessite des réglages et une calibration *in situ*

Débitmètre à effet Doppler

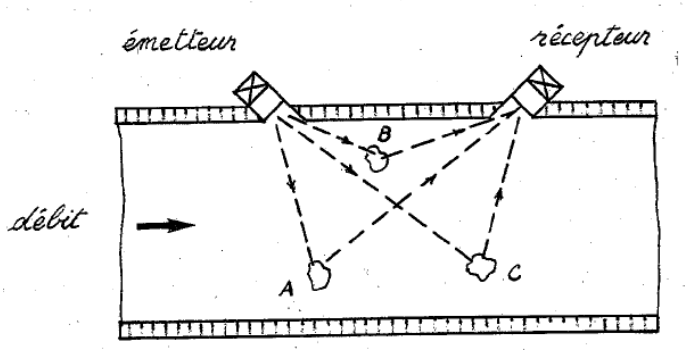


Schéma d'un débitmètre à effet Doppler

Un signal ultrasonore, émis par une sonde, est réfléchi par des particules en suspension dans le liquide et est renvoyé à une sonde réceptrice. Le fluide étant en mouvement, la fréquence de l'onde reçue par la sonde réceptrice sera différente de la fréquence envoyée par la sonde émettrice. Cette différence de fréquence est fonction de la vitesse des particules, selon la loi :

$$\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{v_{moy} \times f_0 \times \cos\Theta}{C}$$

f_0 : fréquence de l'onde émise
f_1 : fréquence de l'écho
V_{moy} : vitesse moyenne
Θ : angle d'émission
C : Célérité de l'onde ultrasonore dans l'eau (1472 m/s)

Avantages	Inconvénients
- Bonne précision sur fluide chargé mais légèrement inférieure à celle du débitmètre électromagnétique - Montage extérieur sur la canalisation	- Le fluide doit être chargé en particules - Nécessité de réglage et de calibration *in situ* - Coût élevé pour les petits diamètres - Longueur droite en amont >10DN

Les déversoirs en paroi mince

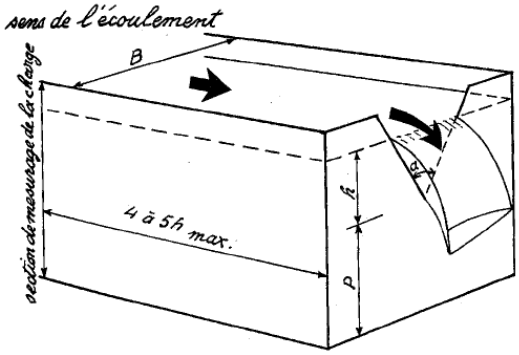


Figure 1 Schéma d'un déversoir à mince paroi de type triangulaire

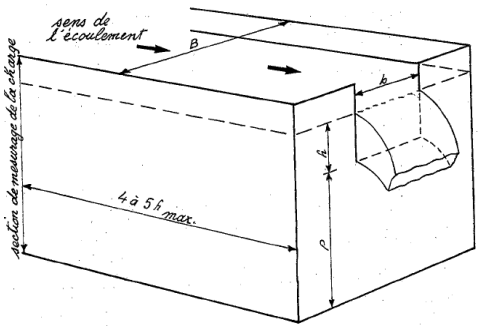


Figure 2 Schéma d'un déversoir à mince paroi de type contraction latérale

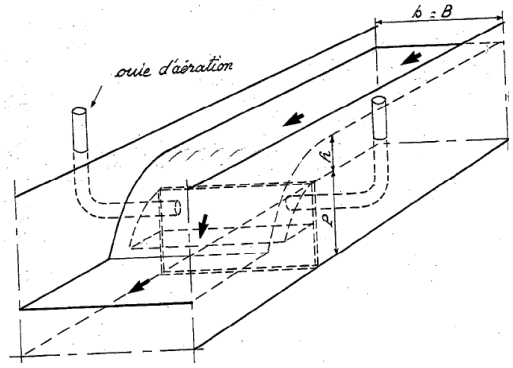


Figure 3 Schéma d'un déversoir à mince paroi de type sans contraction

Le principe de fonctionnement des déversoirs à mince paroi réside sur la mesure de la hauteur d'eau s'écoulant au dessus du déversoir. Les déversoirs à mince paroi sont de 3 types :

- **les déversoirs triangulaires** (faible débit),
- **les déversoirs rectangulaires à contraction latérale** (adaptés à tous débits).
- **les déversoirs rectangulaires sans contraction** (Débit important).

Formule générale de calcul de débit des déversoirs :

Déversoirs rectangulaires (formule de Kindsvarter-Carter	Déversoirs triangilaires (formule de Kindsvater-Shen)
$Q = K \times \frac{2}{3} \times \sqrt{2g} \times b \times h^{2/3}$	$Q = K \times \frac{8}{15} \times \sqrt{2g} \times \tan\frac{a}{2} h^{5/2}$

K : coefficient à calculer qui tient compte des caractéristiques géométriques de l'installation
b : largeur de l'échancrure du déversoirs (m)
h : hauteur d'eau en amont du déversoir (m)
g : accélération de la pesanteur (9.81 m/s)
a : angle du déversoir en radians

Avantages	Inconvénients
- Mesure de faibles débits - Mesure de débit variant dans une grande proportion. - Peu sensible aux mauvaises conditions d'alimentation	- Manque de précision pour de très faibles débits - Elévation importante du niveau de l'écoulement - Non adapté pour des fluide chargés car risque de colmatage de l'échancrure

Les canaux jaugeurs à ressaut : le canal Venturi

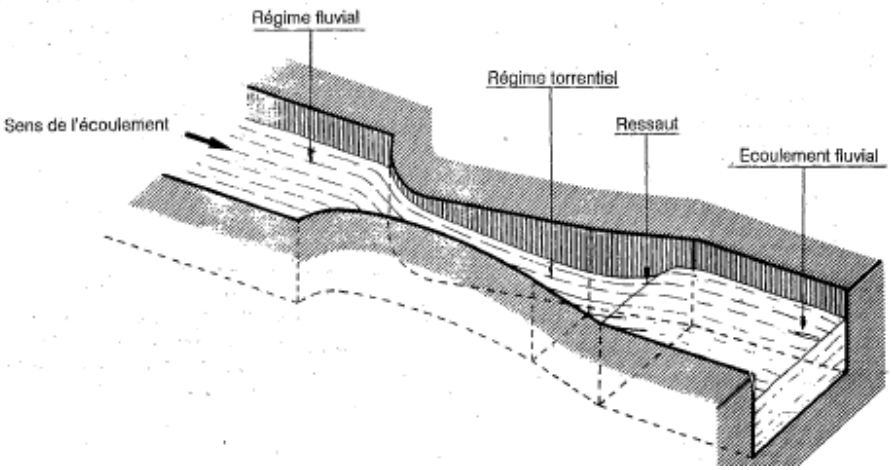


Schéma d'un canal Venturi

L'écoulement est perturbé par la contraction latérale du canal et éventuellement une contraction de fond. Le régime fluvial devient alors torrentiel au niveau de la contraction du canal. En fonction du débit de fluide dans le canal, la hauteur de fluide en amont varie.

Le calcul de débit d'effectue par la relation suivante :

$$Q = (\frac{2}{3})^{3/2} \times \sqrt{g} \times K1 \times K2 \times b \times h^{3/2}$$

Q : débit en m3/s

g : accélération de la pesanteur (9.81 m/s-2)

b : la largeur du col

h : la hauteur d'eau mesurée (m)

K1 : coefficient à déterminer qui dépend de la vitesse d'approche de l'eau dans le canal en amont

K2 : coefficient à déterminer qui tint compte de la rugosité des parois du canal de mesure.

Avantages	Inconvénients
-Bien adapté pour la mesure de fluide chargée - Intéressant lors de faible pente - Vaste étendue de plage de mesure - Pour une taille similaire, permet de mesurer de plus grands débits qu'un déversoir	- Coût plus élevé qu'un déversoir

Capteur de niveau : limnimétre bulle à bulle

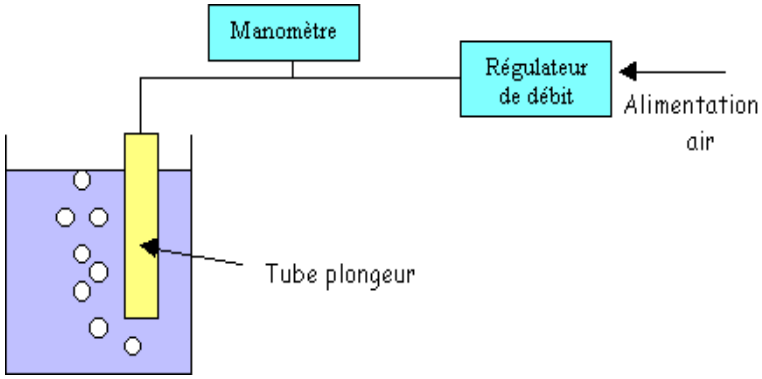


Schéma d'un limnimètre bulle à bulle

Un débit d'air constant est insufflé dans un tuyau plongé dans le liquide. La pression de l'air qu'il faut injecter pour produire des bulles est égale à la pression hydrostatique qui règne dans le liquide. La hauteur d'eau est alors obtenue par la relation : $H = \frac{P}{\rho \times g}$

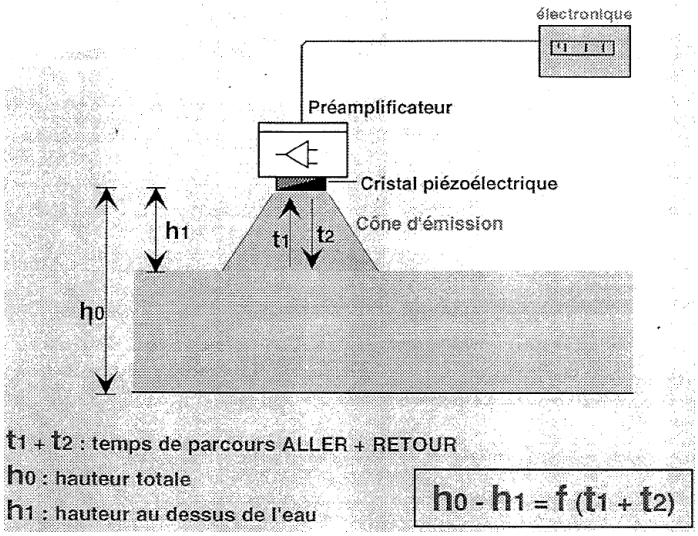
avec P : la pression que l'on doit injecter (Pa) = pression hydrostatique du liquide (Pa)

ρ : la masse volumique du fluide (Kg/m^3)

g : la constante gravitationnelle (m/s^{-2})

Avantages	Inconvénients
- Facile d'utilisation - Coût relativement faible - Possibilité de mesure en continu - Bonne précision de mesure (2% environ)	- Non conseillé dans le cas d'effluent chargé car il est susceptible de se boucher - Décalage au niveau de l'enregistrement lors de variations rapides et importantes de niveau. - Sensible aux variations de température.

Le capteur à ultrason



Le principe de fonctionnement d'un capteur à ultrason repose sur le temps de parcours d'une onde sonore, émise par le capteur et réfléchit par la surface du liquide. La distance parcourue par l'onde, donc le niveau du liquide est ainsi déduit et est fonction du temps mis par l'onde pour effectuer l'aller/retour.

Avantages	Inconvénients
- Très bonne précision de mesure (de l'ordre de 1%) - Pas de contact avec l'eau	- Sensible aux variations de température (la vitesse du son varie dans l'air en fonction de la température). Nécessité d'installer un correcteur de température. - Sensible au taux d'humidité Qualité de la mesure affectée par la présence de corps flottant, vaguelettes ou des mousses en surface du fluide à mesurer

Manchon déversoir[6]

Un suivi ponctuel du débit de flux entrant/sortant peut être effectué à partir de manchon déversoir. Cet appareil de mesure ne peut être utilisé que pour de faibles débits. Ces derniers sont associés aux débitmètres bulle à bulle. Les manchons sont insérés dans la conduite, la chambre à air périphérique est gonflée pour assurer l'étanchéité. L'effluent déverse alors, soit sur un seuil de type triangulaire, soit sur une section de passage circulaire. La variation de la hauteur d'eau induite est proportionnelle au débit.

[6] Manchon déversoir : mode opératoire. In Groupe Neotek (04/03/09). Disponible sur: http://www.ponsel.fr/cbx/modeopratoiremanchondversoir.pdf

Débitmètre à ultrason pour conduites non pleines

Photo d'une canalisation équipée d'un capteur de niveau ultrasonique et d'une sonde de vitesse Doppler à insertion.

Schéma de l'installation

Annexe 3: Tableau général de recommandation pour le prélèvement d'échantillons

Paramètres	Nature du récipient	Technique de conservation	Temps de conservation	Normes de l'analyse
DBO	Plastique ou verre	0°C<T<4°C	1 mois	NF EN 1899
DCO	Plastique ou verre	0°C<T<5°C	1 mois	NF T90-101
Azote ammoniacal	Plastique ou verre	T voisine de 5°C	21 jours (filtrer sur place avant conservation)	NF T90-015
Azote Kjeldhal	Plastique ou verre	T voisine de 4°C	1 mois	NF EN 25663
Nitrites	Plastique ou verre	2°C<T<5°C	24h	NF EN ISO 13395
Nitrates	Plastique ou verre	2°C<T<5°C	24h	NF EN ISO 13395
Phosphore total	Plastique ou verre	0°C<T<5°C	1 mois	NF EN ISO 6878

Annexe 4 : Ordre de prix des appareils de mesure à installer dans une ZRV.

Ce tableau présente un ordre des prix de quelques appareils de mesure présents sur le marché. Ces prix ne prennent pas en compte les travaux nécessaires à leur installation, prix qui dépend de chaque entreprise.

Instruments de mesure	**Coût (ordre de prix) en euros**
Evaporimètre de Piche	100
Bac Coloado (1m50 de diamètre, 30cm de fond en inox)	1700
Station météo GPRS	5000 à 5500
Pause du canal Venturi + sonde	7000
Piézomètre	1000
Pompe péristaltique (avec chargeur de batterie)	2000
Matériel de carotage	5000
Lysimètre	6000
Bougies poreuses en céramique (SDEC)	De 30 à 70 suivant les tailles
Bougies poreuses en teflon/quartz (3 cm de diamètre et 15 cm de longueur) (SDEC)	200
Bougies poreuses en inox (diamètre de 51 mm, une seule chambre)	600
centrale pour TDR	4000
TDR	500