



Lutte contre les micropolluants des eaux urbaines



ROULÉPUR – maîtrise de la contamination des eaux de voirie

Tâche 3.5 – Livrable 3.5a Rapport de présentation du site expérimental et de l'instrumentation - accotements végétalisés et fossés filtrants de Compans

Rapport intermédiaire

**Kelsey Flanagan (LEESU)
Marie-Christine Gromaire (LEESU)**

Avril 2017

Partenaires du projet :

Ecole des Ponts ParisTech – LEESU

CEREMA

Université Bordeaux 1 – EPOC

Conseil Départemental de Seine-Saint-Denis

Conseil Départemental de Seine-et-Marne

Ville de Paris ; Ecovégétal ; Saint Dizier Environnement



- **AUTEURS**

Kelsey FLANAGAN, doctorante (ENPC - LEESU), kelsey.flanagan@enpc.fr

Marie-Christine GROMAIRE, fonction (ENPC - LEESU), adresse e-mail

- **CORRESPONDANTS**

Agence française pour la biodiversité : Claire LEVAL, Chargée de mission « Eau et Aménagements urbains » (ancien ONEMA), claire.leva1@afbiodiversite.fr

Partenaire : Pauline CHABANEL, Ingénieur chargée d'études (Agence de l'Eau Seine-Normandie), chabanel.pauline@aesn.fr

- **AUTRES CONTRIBUTEURS**

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique :

Couverture géographique : administrative : Département de Seine-et-Marne, Compans

- **RESUME**

La tâche 3 du projet ROULEPUR vise l'évaluation in-situ de quatre solutions innovantes de gestion à la source des micropolluants dans les eaux de ruissellement de voiries et de parking. Le présent rapport décrit le dispositif expérimental mis en œuvre en Seine et Marne à Compans pour le suivi hydrique et de la qualité de l'eau au niveau d'un système d'accotements végétalisés et de fossés filtrants. La planification de l'équipement du système a nécessité une phase d'évaluation des hypothèses par rapport au fonctionnement hydrologique de l'ouvrage. Les résultats de cette phase ont montré que le fonctionnement du système diffère fortement de celui initialement prévu, ce qui requière une évolution du programme de métrologie et de suivi. Notamment, un nouveau système de noue filtrante a été construit afin de pouvoir évaluer l'efficacité du massif filtrant initialement prévu. Finalement, sept points de prélèvement sont retenus : les eaux de ruissellement non-traitées ou les eaux brutes, les eaux infiltrées au niveau d'un accotement végétalisé, les eaux infiltrées (en fond de noue) au niveau de la nouvelle noue et les eaux de surface à quatre emplacements différents sur l'accotement végétalisé. Les eaux brutes sont prélevées par des préleveurs automatiques, alors que les eaux infiltrées sont collectées par des systèmes de fractionnement installés dans une cuve alimentée par un drain dans le substrat de l'ouvrage et les eaux de surface sont collectées par de gouttières à la surface. Le suivi hydrique se fait par des augets basculants et par des capteurs hydrologiques installés dans le substrat de l'ouvrage.

- **MOTS CLEFS** Fossé filtrant, accotement végétalisé, bande enherbée, noue filtrante, échantillonnage, Seine-et-Marne, Compans, Ile-de-France, suivi expérimental

- **PRESENTATION OF EXPERIMENTAL SITE AND ITS INSTRUMENTATION – VEGETATIVE FILTER STRIP AND BIOFILTRATION SWALES IN COMPANS**
- **ABSTRACT**

The experimental set-up used to monitor the hydraulic fluxes and water quality for a system of vegetative filter strips and biofiltration swales is presented. Planning the equipment of the system necessitated a phase during which the hypotheses about the system's hydraulic functioning were tested. These results show that the system behaves quite differently than was initially supposed, which requires an evolution in the planned water sampling program. Notably, a new biofiltration swale system was constructed in order to evaluate the ability of the filter medium to improve water quality. In the end, seven sampling points were used: one for collecting untreated road runoff, one collecting water infiltrated in the vegetative filter strip, one collecting water infiltrated in the new biofiltration swale and four collecting water having flowed over the vegetative filter strip at the surface. Untreated road runoff is collected by automatic samplers, while infiltrated water is collected using fractioning systems installed in the manhole that each drain empties into and surface runoff from the vegetative filter strip is collected by gutters inserted into the soil of the side-slope. Hydrologic monitoring is done using tipping-bucket flow meters and hydrologique sensors in the soil.

- **KEY WORDS** Biofiltration, bioretention, swale, vegetative filter strip, grassed filter strip, sampling, in situ monitoring, Seine-et-Marne, Compans, Ile de France

- **SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE**

Contexte générale :

Ce document présente l'équipement métrologique de suivi d'une technique alternative composée d'un accotement végétalisé et d'un fossé filtrant installé en bordure de route pour un suivi hydrique, hydraulique et de la qualité de l'eau. Ce type de suivi peut être demandé aux gestionnaires lors de la mise en place d'un nouveau système de gestion des eaux par techniques alternatives ou peut faire l'objet d'un projet de recherche.

Principaux acquis transférables obtenus :

Un premier acquis de ce travail est le développement d'une méthode pour vérifier les hypothèses du fonctionnement hydrologique du système. Dans les techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales à base de sol, le fonctionnement hydrologique dépend de la conductivité hydraulique du sol, de l'intensité de la pluie et de la géométrie du système, notamment du ratio entre la surface du bassin versant d'apport et la surface de l'ouvrage. Ainsi les hypothèses vis-à-vis du fonctionnement, qui ne sont pas évidentes, doivent être vérifiées avant de procéder à la conception et la mise en place du système d'échantillonnage. Il a d'abord été étudié le fonctionnement hydrologique de l'ouvrage à l'aide d'un modèle hydrologique simple construit dans le logiciel SWMM pour une longue chronique de pluie (4 ans). Ensuite, a été étudiée la distribution spatiale de la contamination du sol en métaux avec des mesures réalisées avec un appareil de Fluorescence-X. Cette technique permet d'avoir des informations par rapport à l'apport des métaux dans différentes parties de l'ouvrage depuis sa mise en oeuvre, ce qui donne des indications sur les flux hydriques. Ces deux méthodes peuvent être utilisées sur d'autres sites.

Les résultats de cette caractérisation initiale du fonctionnement hydrologique de l'ouvrage montrent que la plupart du flux d'eau ruisselé est traitée par l'accotement végétalisé, et non pas dans les fossés filtrants prévu pour ce traitement. Ce résultat n'est pas entièrement transférable à d'autres systèmes car il dépend notamment de leurs configurations. On peut noter que la plupart des flux hydriques et donc des flux polluants sont associés à des événements pluvieux courants de faibles intensités. Ainsi, il est important de comprendre le fonctionnement de l'ouvrage pour ce type d'événement non pas pour des événements exceptionnels, afin de prévoir le traitement de l'eau de ruissellement adapté.

Ce travail a également éprouvé des approches pour échantillonner les eaux de ruissellement à la surface (par un avaloir et par des gouttières) et infiltrées (par un drain). On note que l'échantillonnage de l'eau infiltrée est particulièrement difficile, surtout quand un ouvrage n'a pas été conçu dès le début pour un suivi de la qualité d'eau.

Pour en savoir plus :

Flanagan, K., Tedoldi D., Branchu, P., Gromaire, M.-C., 2017. Caractérisation du fonctionnement d'un ouvrage de gestion à la source du ruissellement de voirie : approche par modélisation hydrologique et par cartographie de la contamination du sol. La Houille Blanche, n° 3, p. 5-13, DOI 10.1051/lhb/2017016

Flanagan, K., Branchu, P., Ramier, D., Gromaire, M.-C., 2017. Evaluation of the relative roles of a vegetative filter strip and a biofiltration swale in a treatment train for road runoff. Water Science and Technology. doi:10.2166/wst.2016.578

Flanagan, K., Branchu, P., Ramier, D., Gromaire, M.-C., 2016. Evaluation of the relative roles of a vegetative filter strip and a biofiltration swale in a treatment train for road runoff, in: NOVATECH 2016. Presented at Novatech.

Ramier, D., Caupos, E., Branchu, P., Dubois, P., Georgel, P., Neveu, P., Paupardin, J., Ratovelomanana, T., Saad, M., Seidl, M., Thomas, E., Viau, J.-Y., Gromaire, M.-C., 2016. Mesurer l'efficacité des techniques alternatives pour la maîtrise des flux polluants: un challenge métrologique. Le cas de quatre dispositifs innovants suivis dans le cadre du projet ROULEPUR, in: NOVATECH 2016. Presented at Novatech.

SOMMAIRE

1. Préambule	7
2. Présentation du site d'étude	7
2.1. Situation generale	7
2.2. Bassin versant étudié.....	7
3. Description de la solution innovante	9
3.1. Accotement végétalisé.....	11
3.2. Fossés filtrants et infiltrants.....	13
4. Dispositif expérimental.....	17
4.1. Principes du dispositif expérimental initialement envisagé.....	17
4.2. Difficultés rencontrées pour La mise en œuvre du dispositif envisagé/ travaux réalisés / modifications faites.....	18
4.2.1. Evolution d'hypothèses sur le fonctionnement hydrologique	18
4.2.2. Travaux d'aménagement du nouveau bief.....	22
4.3. Dispositif métrologique mis en œuvre.....	23
4.3.1. Suivi des eaux brutes.....	23
4.3.2. Suivi de l'état hydrique du système	25
4.3.3. Suivi des eaux traitées.....	30
5. Conclusion et planning	33

1. Préambule

La tâche 3 du projet ROULÉPUR vise l'évaluation in-situ de quatre solutions innovantes de gestion à la source des micropolluants dans les eaux de ruissellement de voiries et parkings :

1. dispositif industrialisé STOPPOL, site de Paris
2. filtres à sable horizontaux plantés, site de Rosny sous Bois
3. accotements végétalisés et fossés filtrants/infiltrants, site de Compans
4. parking perméable Ecovégétal, site de Villeneuve le Roi

Les travaux menés dans cette tâche au cours de l'année 2015 ont essentiellement porté sur une meilleure connaissance du fonctionnement des sites et ouvrages d'études, et d'autre part sur la définition et la mise en œuvre du dispositif expérimental.

Les livrables 3.3a, 3.4a, 3.5a et 3.6a, respectifs à chacun de ces sites d'étude, présentent une synthèse de ces avancées.

2. Présentation du site d'étude

2.1. Situation générale

Le dispositif de fossés filtrants et infiltrants se situe à Compans dans le département de Seine et Marne, spécifiquement dans la zone industrielle Mitry-Compans. Cette zone industrielle comporte plusieurs établissements industriels dont sept classées SEVESO, avec des activités de stockage et conditionnement de gaz, dépôt et distribution d'hydrocarbures, fabrication de polymères, traitement de déchets dangereux (Base des Installations Classées, Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, et de l'Energie). Cette activité industrielle serait une source de pollution du site d'étude. De plus, localisé en proximité de l'Aéroport Charles de Gaulle, le site subit également une pollution due au trafic aérien.

2.2. Bassin versant étudié

Les fossés de filtration et infiltration étudiés récupèrent les eaux de ruissellement de la Route Départementale 212 (RD 212). Cette route est une voirie à quatre voies avec une circulation journalière importante de 11 000 véhicules par jour et par direction dont une partie importante de poids lourds qui a fait l'objet d'un réaménagement récent par le Conseil Départemental 77. La zone étudiée est présentée sur la Figure 1.

Le bassin versant de l'ouvrage étudié est constitué de deux voies sur quatre de cette voirie, soit un sens de circulation. Lors d'un événement pluvieux la pente de la route mène les eaux de ruissellement vers l'accotement. Au niveau des dispositifs de fossé filtrants/infiltrants les eaux ne sont pas canalisées en bordure de route mais rejoignent directement par ruissellement la première partie du dispositif de traitement – l'accotement végétalisé. L'ouvrage étudié a été découpé en 3 biefs, pour lesquels ont été distingués les bassins versants alimentant chaque bief ; chacun couvrant une surface d'un peu plus de 500 m².

Un quatrième bief de fossé pour l'étude des eaux brutes (avant filtration et infiltration) a été défini sur une autre section de la RD 212, une centaine de mètres plus loin dans le sens de circulation sud-est. Cette section de la route correspond au même sens de circulation que les bassins versants alimentant les fossés filtrants et infiltrants. De plus, il n'y a aucune bretelle de sortie ou d'entrée sur cette portion de voie, il est donc supposé que la circulation sera identique et le niveau de pollution similaire. Sur ce bief, l'eau ruisselle transversalement à la route mais au lieu de continuer vers un accotement végétalisé, elle est canalisée par une bordure en béton. Elle suit donc cette bordure jusqu'à un caniveau où elle rentre dans le regard d'eau brute. Le bassin versant de ce 4e bief couvre une surface d'environ 945 m².

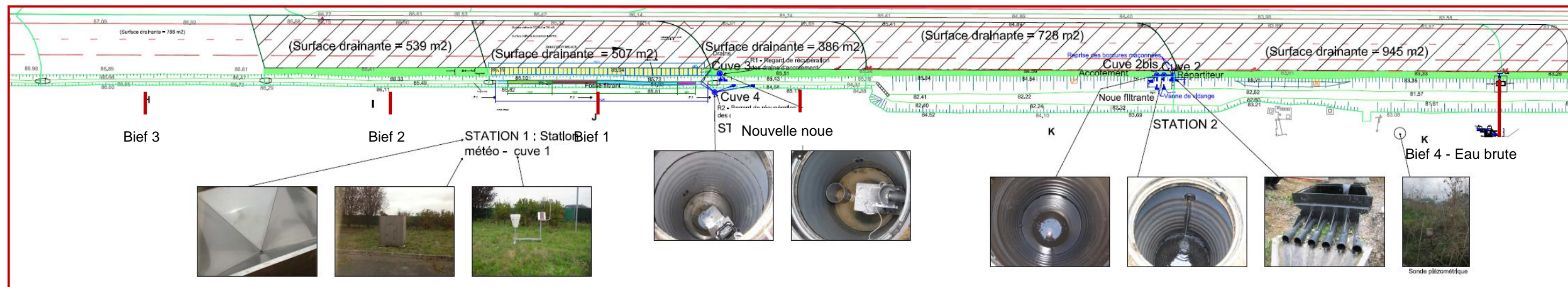


Figure 1 : Implantation des biefs étudiés et du regard eau brute sur la Route Départementale 212 à Compans

3. Description de la solution innovante

L'ouvrage étudié est constitué d'un accotement végétalisé et d'un fossé filtrant. Selon la conception de l'ouvrage, il est prévu que l'accotement végétalisé favorise la décantation et l'infiltration partielle de l'eau ruisselant avant qu'elle atteigne le fossé filtrant. Le fossé est divisé en biefs de 50 m séparés par des redans d'une hauteur de 0,5 m favorisant la mise en charge et l'infiltration au fond du fossé (cf. Image 1).



Image 1 : Photographie de l'ouvrage à Compans

Dans le cadre du projet Roulépur, il est prévu de suivre la qualité de l'eau dans trois biefs de cet ouvrage :

Bief 1 : un bief drainé avec massif filtrant, également étudié dans le cadre d'un projet complémentaire mené par le Conseil Départemental du 77 (cf. Figure 2, Figure 5 et Figure 8),

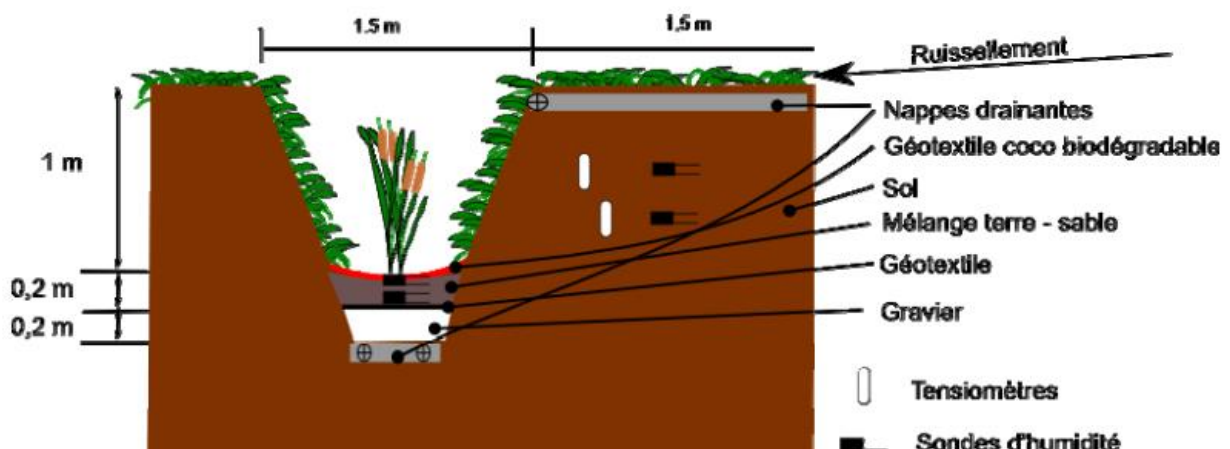


Figure 2 : Coupe du Bief 1

Bief 2 : un bief non drainé avec massif filtrant (cf. Figure 3 et Figure 9),

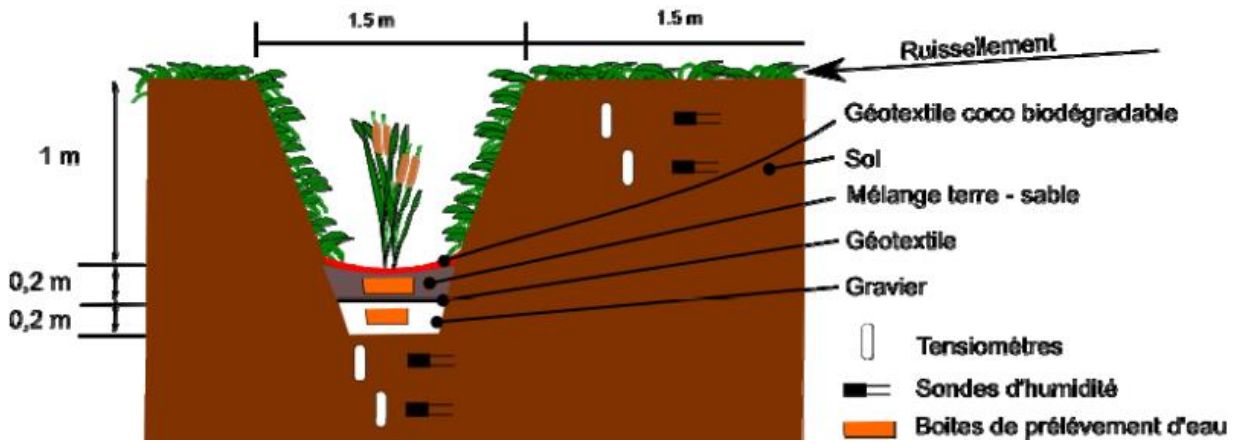


Figure 3 : Coupe du Bief 2

Bief 3 : un bief non-drainé avec un fossé classique, sans massif filtrant (cf. Figure 4 et Figure 10).

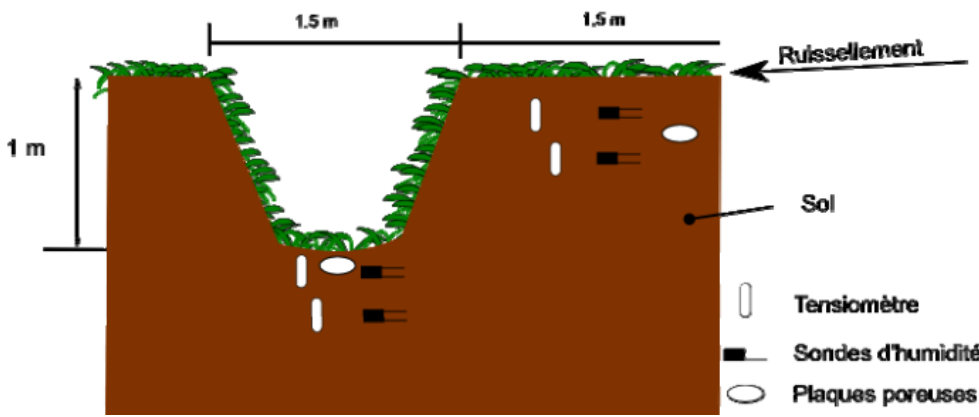


Figure 4 : Coupe du Bief 3

Cette approche permettrait d'étudier l'effet du drainage sur la qualité de l'eau ainsi que l'intérêt d'apporter un massif filtrant par rapport au maintien du sol naturel du site.

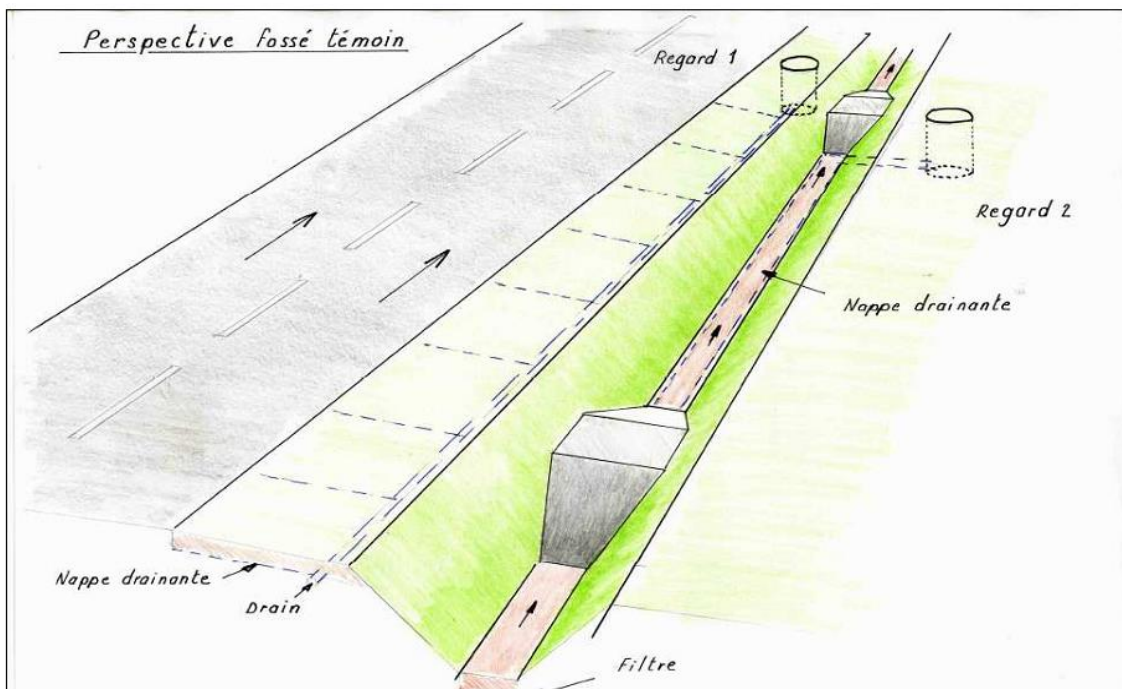


Figure 5 : Schéma en perspective présentant le bief drainé du dispositif

3.1. Accotement végétalisé

Le fonctionnement prévu de l'accotement végétalisé ainsi que les différences entre les accotements des différents biefs sont présentés ci-après.

L'accotement végétalisé joue le rôle d'une bande enherbée, similaire aux systèmes du même nom souvent employé dans le domaine agricole. La conception prévoit que l'eau de ruissellement du bassin versant de la route ruisselle directement sur l'accotement ; la présence d'une végétation dense ralentit son écoulement, encourageant la décantation des particules et l'infiltration de l'eau dans le sol. Les polluants particuliers peuvent aussi être retenus par une filtration à travers les brins d'herbe dans le système. Le choix des plantes mises en œuvre sur les accotements a varié entre les différents biefs.

L'accotement végétalisé est large de 1.8-2 m avec une pente entre 3.5-7.5% pour l'ensemble des biefs.

Sur le bief 1, lors de la construction du fossé, de la terre végétale typique (un limon argileux avec une conductivité hydraulique d'environ $3.8.10^{-6}$ m/s) a été utilisée pour recouvrir la structure de la route et construire l'accotement. Une couche d'environ 0.2m de cette terre a été enlevée pour l'installation du drainage. Le drainage consiste en une nappe drainante (modèle Draitube FT de la marque Afitex) munie de petits tubes percés, placés tous les 1m perpendiculairement à la route et qui drainent l'eau vers un collecteur longitudinal qui se vide dans une cuve de 1 m³ en aval du bief. La nappe drainante n'est pas étanche. Par-dessus la nappe, la terre végétale a été remplacée par un mélange de 40% terre végétale et 60% sable, avec une texture sablo-limoneuse et une conductivité hydraulique d'environ $6.6.10^{-6}$ m/s le même mélange constituant la couche du substrat filtrant du fossé filtrant.

Au niveau des biefs 2 et 3, aucun drainage n'a été installé et la terre végétale typique n'a pas été modifiée.

Au niveau des biefs 1 et 2, l'accotement a été semé avec une combinaison de 80% en masse du mélange *dactylus glomerata*, *carex s.* et *festuca sp* et 20% du mélange *achilea millefolium*, *matricaria perfora*, *cerastium fontanum*, *silene latifolia*, *trifolium dubium*, *vicia sativa*, *mentha graveolens*. Ces plantes ont été sélectionnées dans l'objectif de favoriser les processus de phytoremédiation. Selon une étude menée par le Conseil Départemental de Seine et Marne (CD 77), avec le temps, les plantes présentes sur l'accotement ont évolué et incluent à présent de nombreuses autres espèces.

L'accotement du bief 3 n'a pas été semé avec des plantes particulières. La végétation locale s'est installée de façon naturelle.

Lors de la mise en place des capteurs hydrologiques en février 2015, la structure de la route a été observée sous les accotements des biefs 1 et 2. La structure observée est différente de celle présentée dans les plans de construction après travaux. De ce fait, la structure de la route est un point d'incertitude important. Elle varie entre les différents biefs de l'ouvrage et peut également varier entre différents points sur un même bief.

En janvier 2015, le sol a été décaissé à deux emplacements sur le bief 2 afin de mieux caractériser la géométrie de cette structure. La structure retrouvée était différente aux deux emplacements décaissés.

La première tranchée décaissée se trouve dans la partie aval du bief, environ 8m en amont du redan aval, proche de l'emplacement de capteurs hydrologiques. On retrouve les couches de structure de voirie attendues, proche à la route. Plus proche du fossé, après la fin de la structure de voirie à proprement parler, on observe une couche dure mais non liée, ressemblant à de la terre compactée à une profondeur de 32 cm sous l'accotement (Cf. Figure 6).

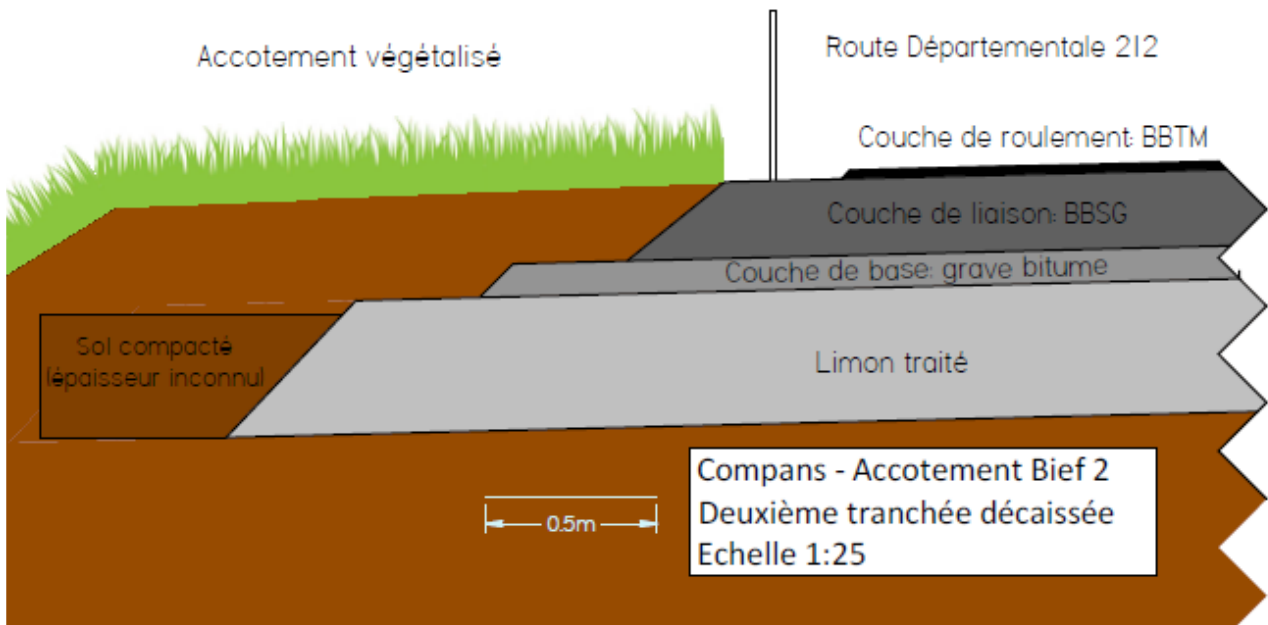


Figure 6: Structure de la route au niveau de la première tranchée décaissée sur l'accotement du Bief 2

La deuxième tranchée décaissée se trouve au milieu du bief 2, à environ 0.5m en amont du panneau de l'Eglise Mitry-Mory. Au niveau de cette tranchée, on retrouve une structure similaire proche de la route mais très différente plus proche du fossé. On observe sur la couche de limon traité, un sol dur et lié, dépassant largement la structure de la route, et atteignant le talus du fossé. Cette couche affleure à certains endroits dans la zone de cette tranchée. D'après le Conseil Départemental de Seine et Marne, cette couche ne ferait pas partie de la structure de la route à proprement parler mais correspondrait à un surplus de limon traité qui aurait été répandu sur le sol compacté pendant les travaux afin de s'en débarrasser avant la mise en place de la terre végétale. Cela explique sa présence à certains endroits mais pas d'autres. Cette couche de limon traité repose également comme précédemment à l'aval du bief 2 sur une couche de sol compact d'épaisseur inconnue (Cf. Figure 7).

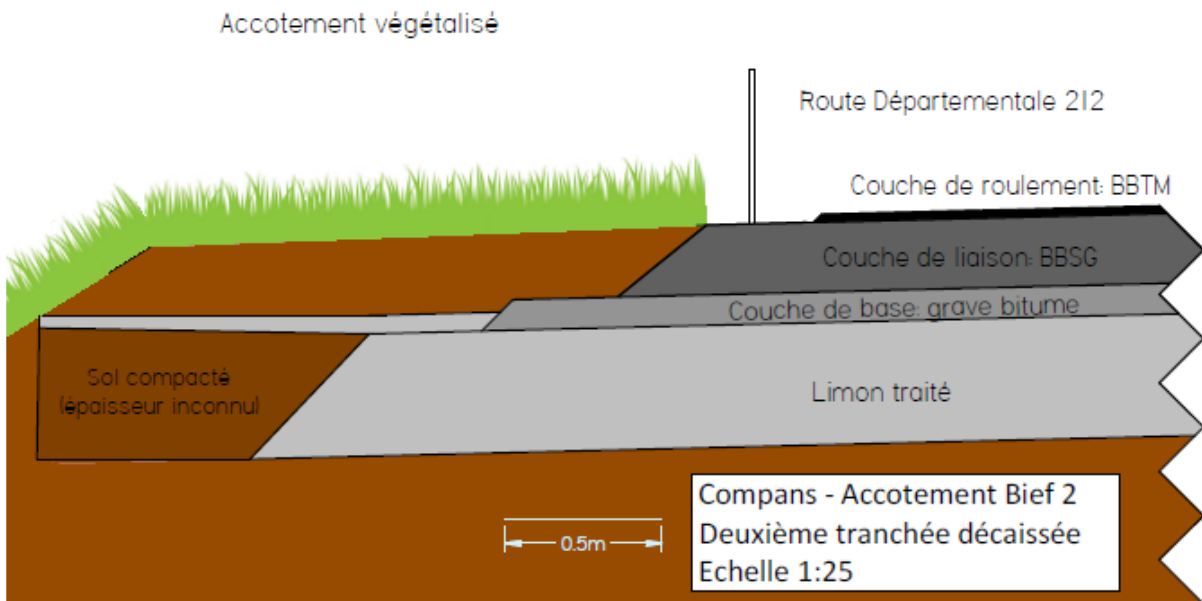


Figure 7 : Structure de la route au niveau de la deuxième tranchée décaissée sur l'accotement du Bief 2

Il est attendu que la structure de voirie ait un effet sur l'écoulement d'eau sous l'accotement. Lors du décaissement, on a tenté de mesurer la conductivité hydraulique de la couche de limon traité utilisant la méthode Guelph. Cependant, l'essai n'a pas pu être achevé, l'infiltration étant trop lente. Des échantillons de

limon traité intacte ont été prélevés sur site, ce qui pourrait permettre une caractérisation de sa perméabilité en laboratoire.

Cet essai apporte néanmoins l'information que le limon traité serait beaucoup moins perméable que le sol végétal. Ainsi, lors de l'infiltration de l'eau dans l'accotement, une zone saturée se formerait temporairement au niveau de la couche de limon traité en attendant de s'infiltrer. L'eau saturant le sol finirait soit par s'infiltrer dans le limon traité bien que à une vitesse lente, soit par ressortir au niveau du talus, soit par être évaporée ou transpirée par la végétation. L'importance relative de ces différents processus dépendra de la conductivité hydraulique du limon traité (paramètre jusqu'ici inconnu), la pente de la couche de limon traité et de la vitesse d'évapotranspiration qui varie en fonction des saisons et des conditions météorologiques.

Une meilleure compréhension des propriétés hydrauliques de la structure de la route sera nécessaire pour la suite de l'étude du fonctionnement hydrologique de cette partie de l'ouvrage.

Les structures présentées sur la Figure 8 et la Figure 10 représentent la meilleure estimation de la structure à l'heure actuelle sur les biefs 1 et 3 au niveau des capteurs hydrologiques, représentation réalisée à partir des observations faites sur le terrain et les plans avant et après travaux du Conseil Départemental 77. Pour le bief 2, la structure correspond donc à la structure de la première tranchée décaissée, plus proche de l'emplacement des capteurs.

3.2. Fossés filtrants et infiltrants

Suite au prétraitement supposé réalisé par l'accotement végétalisé, l'eau de ruissellement devrait arriver au fossé où elle serait filtrée (cas des biefs 1 et 2) et ensuite infiltrée dans le sol naturel.

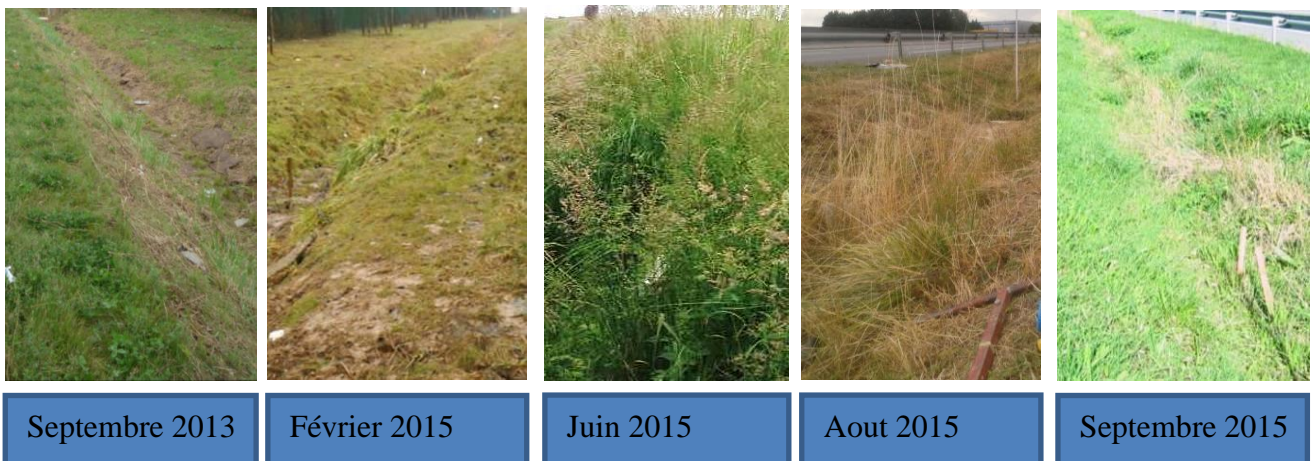
Le sol originel des fossés de biefs 1 et 2 a été remplacé par un massif filtrant (sablo-limoneux avec un conductivité hydraulique d'environ $6.6 \cdot 10^{-6}$ m/s) composé de haut en bas par 0,2 m d'un mélange de terre végétale et de sable, un géotextile puis une couche de 0,2 m de graviers. L'eau arrivée dans le fossé percole à travers ce filtre avant de s'infiltrer dans le sol naturel (un sol argileux avec une conductivité hydraulique d'environ $1.4 \cdot 10^{-8}$ m/s). Le fond de ces fossés a une largeur d'environ 0.7 m.

Lors de la conception de l'ouvrage, une attention particulière a été apportée au choix des plantes dans le fossé afin d'optimiser les processus de dépollution dans le substrat filtrant. Les biefs 1 et 2 du fossé ont été plantés avec les plantes suivantes : phragmites australis, carex acutiformis, carex gracilis, carex raparia, typha latifolia, phalaris arundinacea et glyceria maxima. Ces plantes ne se développent pas de façon optimale, à priori du fait d'une manque d'eau et de lumière (Images 2 – Image 6).

Cette partie de l'ouvrage peut être comparé aux ouvrages de biorétention ou biofiltration des eaux pluviales (« stormwater biofilter ») dans la littérature scientifique internationale.

Au niveau du bief 1, une nappe drainante (modèle DRAINTUBE FT de la marque Afitex) munie de 2 petits tubes de drainage a été installée longitudinalement sous la couche de gravier. Les deux drains se déversent dans une cuve de 1 m³ en aval du bief. Le bief 2 n'est pas drainé.

Au niveau du bief 3, le fossé est de type « classique », aucun massif filtrant n'a été mis en oeuvre – le sol originel reste en place. Le fond du fossé a une largeur d'environ 0.5m. Il n'a pas été semé avec des plantes particulières ; la végétation locale s'est installée de manière naturelle. Ce bief n'est pas drainé.



Images 2, 3, 4, 5 et 6 : Evolution de la végétation dans le fossé à Compans

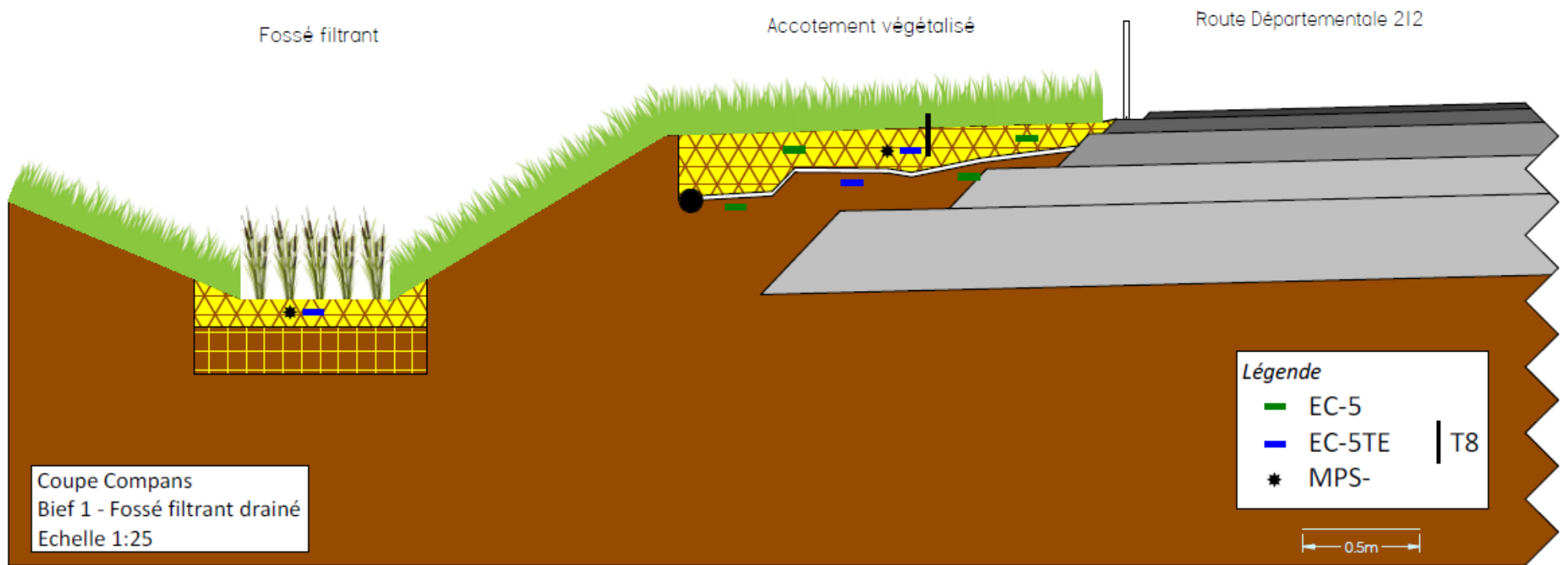


Figure 8 : Schéma en coupe du bief 1 avec implantation des capteurs hydrologiques

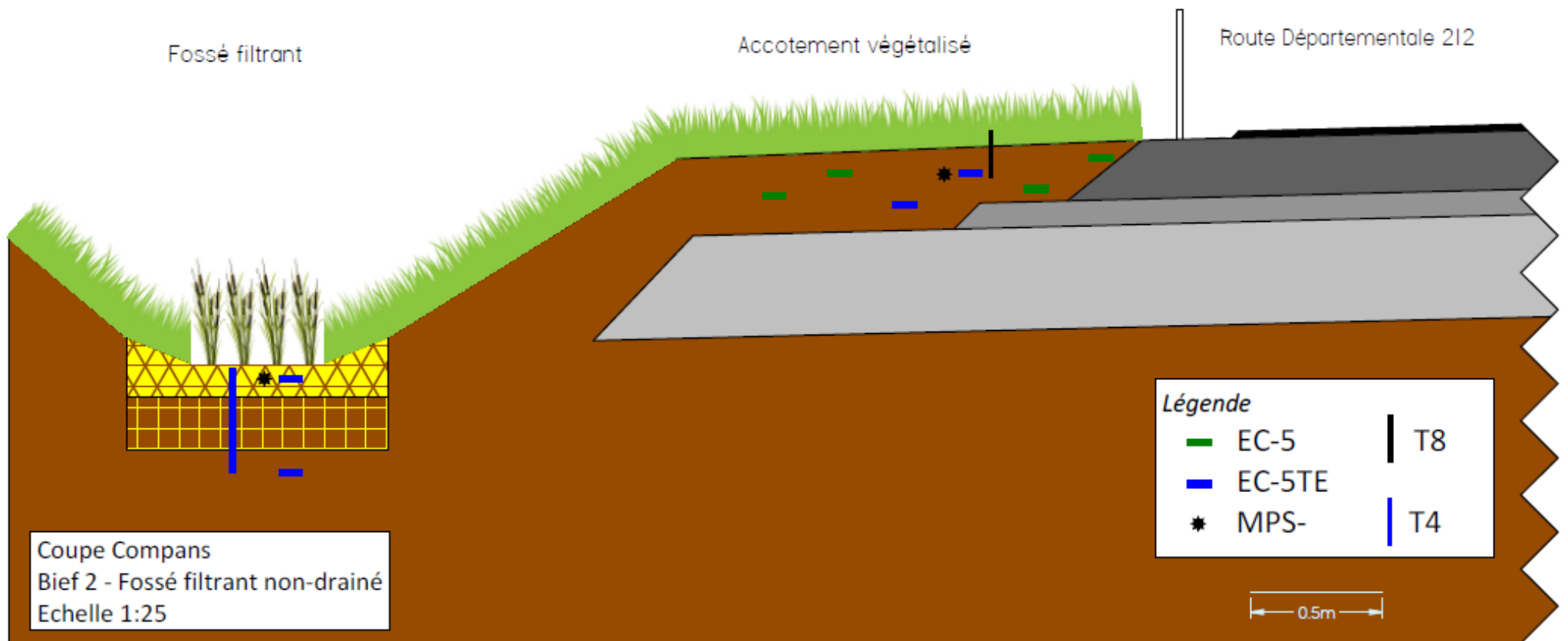


Figure 9 : Schéma en coupe du bief 2 avec implantation des capteurs hydrologiques

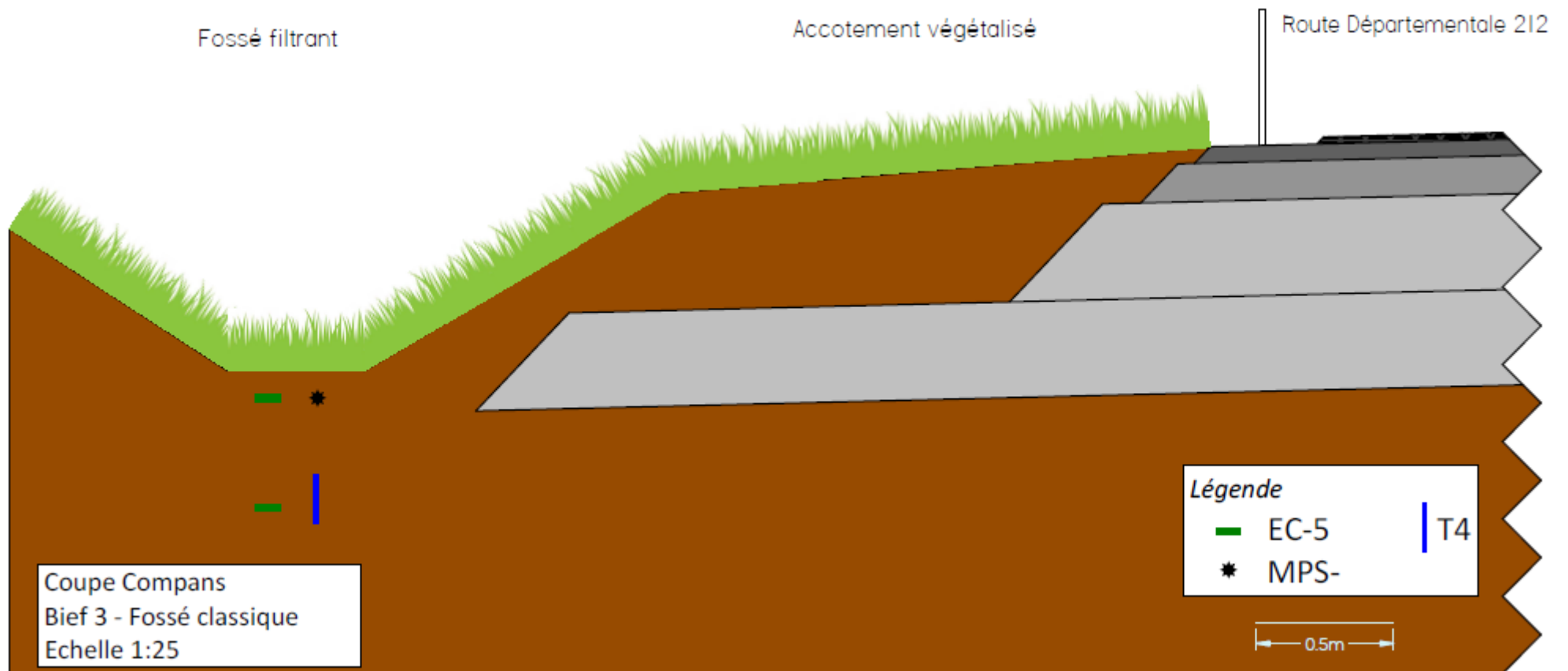


Figure 10 : Schéma en coupe du bief 3 avec implantation des capteurs hydrologiques

4. Dispositif expérimental

L'objectif du dispositif expérimental est d'évaluer l'efficacité de traitement (des micropolluants) des eaux de ruissellement dans chaque partie de l'ouvrage, ainsi que le pouvoir d'infiltration / rétention des eaux des dispositifs mis en œuvre dans les différents biefs. Pour mesurer des flux de polluants, il est nécessaire de mesurer ou d'estimer le volume écoulé (par mesure de débit) ainsi que la concentration moyenne des polluants associée à ce volume. Afin de déterminer une concentration moyenne pour un événement pluvieux déterminé, il est nécessaire de réaliser des prélèvements proportionnels au volume d'eau. Pour certains points de prélèvement, la mesure de débit et ainsi de volume n'a pas été possible. Ainsi, pour ces points, l'évaluation de l'efficacité de traitement sera faite en comparant les concentrations en sortie du dispositif avec les concentrations à l'entrée.

La qualité des eaux traitées sera comparée à la qualité des eaux brutes prélevées sur une autre section de la route (Bief 4).

L'analyse de micropolluants implique plusieurs contraintes au niveau de l'échantillonnage : la récupération rapide de l'échantillon (sous 24h), le pré-traitement et extraction rapide de l'échantillon suivant sa récupération et un volume suffisant (>3L par flacon, avec 1 flacon en verre et 1 flacon en plastique pour chaque point de prélèvement) pour pouvoir déterminer des concentrations quantifiables pour tous les composés étudiés. Le choix des événements pluvieux étudiés est largement conditionné par ces contraintes. En effet, on ne peut échantillonner que des pluies survenant entre le dimanche matin et le jeudi matin afin de pouvoir traiter et extraire les échantillons avant la fin de la semaine (fermeture des laboratoires d'analyses le WE). De plus, seules les pluies cumulant plus de 2 mm peuvent permettre de récupérer un volume suffisant d'eau pour les analyses. Ces contraintes réduisent fortement le nombre d'événements pouvant être échantillonnés. Il a également été essayé d'échantillonner des pluies survenant à différentes saisons afin de capter plusieurs types d'événements pluvieux dans différentes conditions hydriques (teneur en eau) et de végétation de l'ouvrage.

4.1. Principes du dispositif expérimental initialement envisagé

Le dispositif expérimental à Compans initialement prévu était le suivant :

Bief filtrant drainé (Bief 1, Figure 1) :

Le fonctionnement hydrologique du bief drainé devait être étudié à partir de mesures de potentiels de pression (avec des tensiomètres) et teneur en eau (avec des sondes d'humidité) à deux profondeurs sous l'accotement, complété par le suivi de la teneur en eau dans le mélange terre-sable du fossé. Ce dispositif devait être répété suivant deux profils : un au milieu du bief, le deuxième à l'aval.

Les eaux percolées et drainées par les nappes drainantes de l'accotement et du fossé, dirigées vers des cuves à l'aval, devaient faire l'objet :

- de mesures de débit (débitmètre à auget basculant),
- de prélèvements pour l'analyse de la qualité de l'eau en sortie de bief.

Bief filtrant non-drainé (Bief 2, Figure 1) :

Le fonctionnement du bief non-drainé du fossé filtrant devait être étudié également par la mesure des transferts hydriques sous l'accotement et dans le fossé à partir de mesure de potentiels de pression et de teneur en eau à deux profondeurs et selon deux profils.

Pour le suivi qualité, l'eau devait être collectée en quatre points dans l'ouvrage puis analysée :

- dans le sol sous l'accotement,
- à la surface après ruissellement sur l'accotement,
- sous la couche de mélange terre-sable dans le fossé,
- dans le sol naturel sous la couche de graviers,

Bief classique (Bief 3, Figure 1) :

Le fonctionnement du bief classique devait être étudié par des mesures des potentiels de pression et de la teneur en eau du sol installés à deux profondeurs uniquement dans le fossé selon deux profils, un au milieu du bief, le deuxième à l'aval. Il est supposé que l'accotement de ce bief fonctionne de la même manière que celui du bief 2. La qualité de l'eau infiltrée devait être mesurée à partir d'un prélèvement d'eau interstitielle du sol sous le fossé. Cette eau devait être comparée à la qualité de l'eau de ruissellement arrivant en surface du fossé.

Eaux Brutes (Bief 4, Figure 1) :

Afin de comparer la qualité de l'eau dans les différents biefs de l'ouvrage avec une eau brute ruisselée un système traditionnel de caniveau alimenté par un bassin versant de voirie de 945 m², recueille les eaux brutes de la route qui seront collectées dans un regard dédié. Ces eaux devaient faire l'objet de :

- mesures de débit, turbidité et conductivité en continu,
- de prélèvements pour l'analyse de la qualité de l'eau.

4.2. Difficultés rencontrées pour La mise en œuvre du dispositif envisagé/ travaux réalisés / modifications faites

4.2.1. Evolution d'hypothèses sur le fonctionnement hydrologique

Afin de prévoir la campagne d'échantillonnage des eaux dans l'ouvrage à Compans, il a été nécessaire d'étudier son fonctionnement hydrologique. Alors que la conception de l'ouvrage prévoyait qu'une petite partie de l'eau s'infiltrerait sur l'accotement et que la majorité serait traitée par le massif filtrant au fond du fossé, certaines observations nous ont amené à considérer la possibilité que finalement peu d'eau arrivait jusqu'au fossé, la plupart étant traitée par l'accotement. En effet :

- Malgré la présence des redans devant retenir l'eau en surface des fossés avant son infiltration, il n'y a eu qu'une seule observation d'eau stagnante en surface sur ce site en février 2016 ;
- Aucun débit n'a été enregistré dans le drain du fossé du bief 1 depuis sa mise en place en octobre 2013;
- Les plantes adaptées aux milieux humides semés au fond des fossés des biefs 1 et 2 ne se développent pas de façon optimale, ce qui pourrait être une indication d'un manque d'eau.

Des travaux de modélisation ont donc été engagés afin d'investiguer les rôles respectifs de la bande enherbée et du fossé filtrant dans les différentes configurations de l'ouvrage (biefs 1 et 2). Pour cela, un modèle simple a été construit avec le logiciel US EPA SWMM. Dans ce modèle, la route a été représentée par un bassin versant imperméable, alors que l'accotement végétalisé et le talus ont été représentés chacun par un bassin versant perméable. L'eau ruisselle de façon perpendiculaire à la route. Le ruissellement en surface a été modélisé comme un réservoir non linéaire et l'infiltration par le modèle de Green-Ampt.

Afin d'évaluer le rôle du fossé filtrant, le coefficient de ruissellement (C_R) pour le bassin versant composé de la route, l'accotement et le talus a été calculé (cf. Equation 1). Ce coefficient représente la fraction du volume de pluie total de ces bassins versants géré par le fossé filtrant. Un C_R nul correspond à un fonctionnement où toute l'eau s'infiltré dans l'accotement et le talus, alors que un C_R égal à 1 correspondrait à un fonctionnement où il n'y a aucune perte dû à l'infiltration ou à l'évaporation (y compris les pertes initiales) sur les bassins versants de la route, l'accotement et le talus.

$$C_R = \frac{V_{\text{ruissellement, talus}}}{h_{\text{pluie}} (S_{\text{route}} + S_{\text{accotement}} + S_{\text{talus}})} \quad (1)$$

où $V_{\text{ruissellement, talus}}$ est le volume de ruissellement sortant du talus, h_{pluie} est le cumul de pluie, S_{route} , $S_{\text{bande enherbée}}$ et S_{talus} sont les surfaces de la route, la bande enherbée et le talus respectivement.

Le modèle a été construit avec des données géométriques relevées sur le terrain (cf. Tableaux 1 et 2). La conductivité hydraulique, qui est le paramètre le plus sensible du modèle, a été mesurée sur le terrain par plusieurs méthodes. La charge de succion au front de mouillage (paramètre du modèle d'infiltration de Green et Ampt) a également été calculée à partir de mesures sur le terrain. Deux conditions initiales d'humidité, l'une égale à la valeur la plus sèche mesurée par les capteurs sur le terrain, et l'autre égale à la capacité au champ (hypothèse plutôt humide) ont été considérées. Les valeurs de rugosité de Manning et de stockage en dépression ont été estimées par des valeurs typiques du type de surface ; le modèle n'était pas très sensible à ces valeurs.

Sous-bassin versant	Route	Accotement	Talus
Pente (%)	2	5	66
Longueur (m)	10.5	1.95	1.10
Stockage en dépression (mm)	1	5	5
Coefficient de rugosité	0.011	0.15	0.15

Tableau 1: Paramètres des bassins versants

Type de sol		Limoneux (Biefs 2 et 3)	Sablo-limoneux (Bief 1)
Conductivité hydraulique (mm/h)		23.8	13.8
Charge de succion (mm)	Humide	91.1	56.3
	Sec	93.7	56.5
Différence entre teneur en eau et teneur en eau à saturation (%)	Humide	17	17
	Sec	33	29

Tableau 2 : Paramètres du modèle d'infiltration Green-Ampt

Plusieurs simulations ont été menées afin d'évaluer la proportion du volume précipité total du bassin versant (route+accotement+talus) arrivant dans le fossé. Un premier type de simulation a été mené avec des pluies d'intensité constante et un cumul de pluie total égale à 18 mm. Des intensités de 1, 3, 4.5, 6, et 9 mm/h ont été considérées. Pour l'accotement en limon (Biefs 2 et 3), on observe un coefficient de ruissellement non-nul (correspondant à une arrivée des eaux de ruissellement dans le fossé) pour des intensités de pluie supérieures ou égales à 4,5 mm/h. Pour le sol sablo-limoneux, plus perméable, on n'observe un coefficient de ruissellement non-nul uniquement à partir d'une intensité de pluie de 9 mm/h.

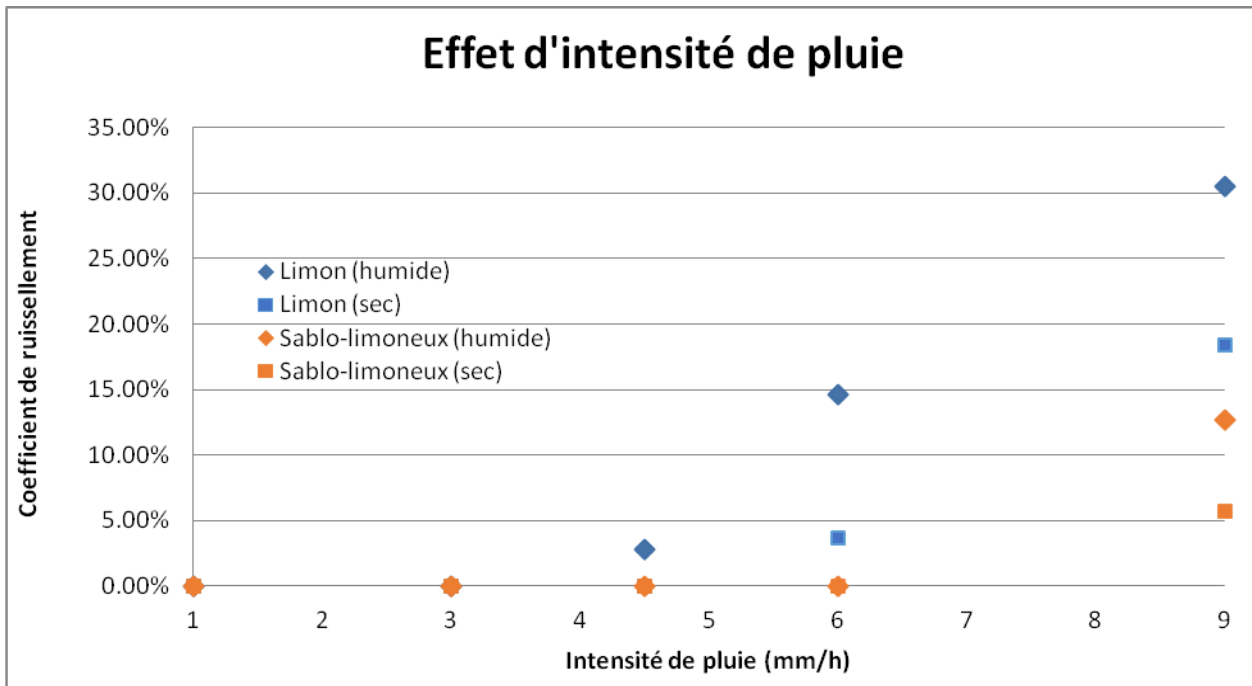


Figure 11 : Coefficient de ruissellement en fonction de l'intensité de la pluie

Ces résultats montrent que les proportions d'eau infiltrées par l'accotement et le talus par rapport au fossé filtrant dépendent fortement de l'intensité de pluie. Les pluies peu intenses seront infiltrées majoritairement par l'accotement et le talus, alors que le fossé jouera un rôle plus important pour les événements pluvieux de forte intensité. On observe aussi que le fossé jouera un rôle plus important quand l'accotement et le talus sont en sol limoneux (cas des biefs 2 et 3) par rapport au cas d'un sol sablo-limoneux, plus perméable. Finalement, on voit que la teneur en eau initiale du sol a un effet sur l'importance du rôle du fossé : quand le sol est plus sec, l'eau s'infiltré plus rapidement au niveau de l'accotement et le talus, et ainsi moins d'eau arrive au fossé.

Afin d'évaluer le fonctionnement hydrologique du système pour des événements réels ayant eu lieu à Compans, quatre événements réels ont été simulés. Des données de pluie enregistrées par la station météorologique implantée sur site géré par le Conseil Départemental 77 à un pas de temps de 6 minutes ont été utilisées. Les événements simulés ainsi que les résultats principaux pour ces événements sont présentés dans le Tableau 3. Comme pour les événements d'intensité constante, le coefficient de ruissellement pour l'ensemble route+accotement+talus a été étudié. On observe des coefficients de ruissellement nuls ou très faibles pour les événements de décembre 2014 et février 2015. Pour ces événements, typiques des pluies d'hiver en Ile-de-France, la quasi-totalité du volume de pluie est infiltré par le système accotement+talus. Légèrement plus d'eau arrive dans le fossé pour l'événement d'avril-mai 2015, plus important en volume total et en intensité, mais son rôle reste minoritaire (<5% du volume total). Pour l'événement de juillet 2015 on observe que le fossé générerait 25-35% du volume total. Cet événement est le plus intense enregistré depuis le début de la période de mesure en octobre 2013 ; on s'attendrait donc à ce que le C_R soit l'un des plus importants observés. Ces résultats montrent que le rôle du fossé est généralement mineur pour l'ensemble des événements considérés.

Ainsi le faible volume d'eau (par rapport au volume total précipité) arrivant dans le fossé provient de l'eau précipitée directement dans le fossé, d'une partie de l'eau précipité sur le talus et d'une faible quantité d'eau précipitée sur voirie (une grande partie étant gérée par l'accotement et le talus). Cette eau est donc diluée puisque c'est à priori l'eau provenant de la chaussée qui est la plus chargée en micro-polluants. Afin de considérer la dilution de l'eau arrivant dans le fossé, il a été calculé : la proportion d'eau de voirie arrivant dans le fossé par rapport au volume total d'eau arrivant dans ce dernier pluie tombée directement sur l'accotement, le talus ou le fossé). On observe que cette proportion peut varier entre 0-60% en fonction des caractéristiques de l'événement pluvieux. Cela veut dire que la concentration des polluants dans le fossé sera au maximum égale à 60% de la concentration dans les eaux de ruissellement voirie, même sans une rétention de polluants. Une fraction égale à zéro correspond à un comportement où toute l'eau de ruissellement est infiltrée dans l'accotement et le talus, la seule eau arrivant au fossé étant la précipitation directe sur le fossé. Il est à souligner que quand cela arrive, il serait toujours possible de collecter un

échantillon dans le fossé car il y aura toujours de la pluie qui tombe directement sur le fossé. Cependant, un échantillon de ce type n'apporterait aucune information sur la capacité du système à traiter les eaux de ruissellement Il est donc très important d'être conscient du type d'eau présent dans le fossé avant de faire un prélèvement.

Date	Cumul de pluie (mm)	Durée (h)	Intensité maximale (mm/h)	Type de sol	Conditions initiales	Coefficient de ruissellement	Fraction de ruissellement dans le biofiltre
17 décembre 2014	11.2	11.5	6	Limoneux	Humide	0	0
					Sec	0	0
				Sablo-limoneux	Humide	0	0
					Sec	0	0
21 juillet 2014	14.1	8.2	138	Limoneux	Humide	0.35	0.60
					Sec	0.29	0.57
				Sablo-limoneux	Humide	0.30	0.57
					Sec	0.25	0.54
22-23 février 2015	12.9	9.3	12	Limoneux	Humide	0.0014	0.012
					Sec	0	0
				Sablo-limoneux	Humide	0	0
					Sec	0	0
30 avril – 1 mai 2015	28.3	29.4	24	Limoneux	Humide	0.05	0.22
					Sec	0.02	0.11
				Sablo-limoneux	Humide	0.01	0.05
					Sec	0	0

Tableau 3 : Simulation des événements pluvieux réels

Enfin, des simulations ont été menées avec une chronique de pluies enregistrée en Ile-de-France pour une période de quatre ans à un pas de temps de 5 minutes. Ces données permettaient de considérer les proportions d'eau gérées par chaque partie du système sur une période plus longue, prenant en compte une variété d'événements pluvieux. Ces simulations ont montré un C_R interannuel de 0.09-0.11 pour le sol limoneux des biefs 2 et 3 (en fonction des conditions initiales du sol, la valeur la plus faible correspondant aux conditions de sol sec) et de 0.068-0.082 pour le sol sablo-limoneux du bief 1. C'est-à-dire que sur une longue période, moins de 11% du volume de pluie du bassin versant de la route, l'accotement et le talus arrive dans le fossé et est géré par ce dernier.

Un autre élément soutenant l'hypothèse que l'accotement joue le rôle majeur de traitement des eaux de ruissellement est la distribution spatiale de la contamination en métaux du sol de l'accotement. Des échantillons ont été prélevés tous les 1.5m longitudinalement sur 18m à des distances de 0, 0.3, 0.7, 1.2 et 1.8 m de la route, soit 65 échantillons par bief. Les distributions de zinc et de plomb, deux métaux généralement présents dans les eaux de ruissellement de voirie, sont visibles en Figure 12. On observe que sur les deux biefs, la contamination est localisée proche de la route, avec des concentrations à proximité du

talus proches du fond géochimique. La contamination est encore moins étendue sur le Bief 2 que sur le Bief 1, ce qui indique une différence de l'alimentation en eau des deux biefs. En effet, on observe, sur le Bief 2, que le niveau du terrain naturel est légèrement plus élevé que le niveau de la route, ce qui bloque l'écoulement de l'eau vers l'accotement et entraîne des écoulements longitudinaux sur la route. Ce rehaussement du TN, dû au dépôt de sédiment et/ou à l'humification de la matière organique provenant des végétaux, est aussi observé sur le Bief 1 mais à un moindre degré. – Le niveau du TN de l'accotement du bief 1 est actuellement à peu près au même niveau que celui de la route. On suppose donc que l'alimentation en eau du Bief 2 est actuellement dégradée.

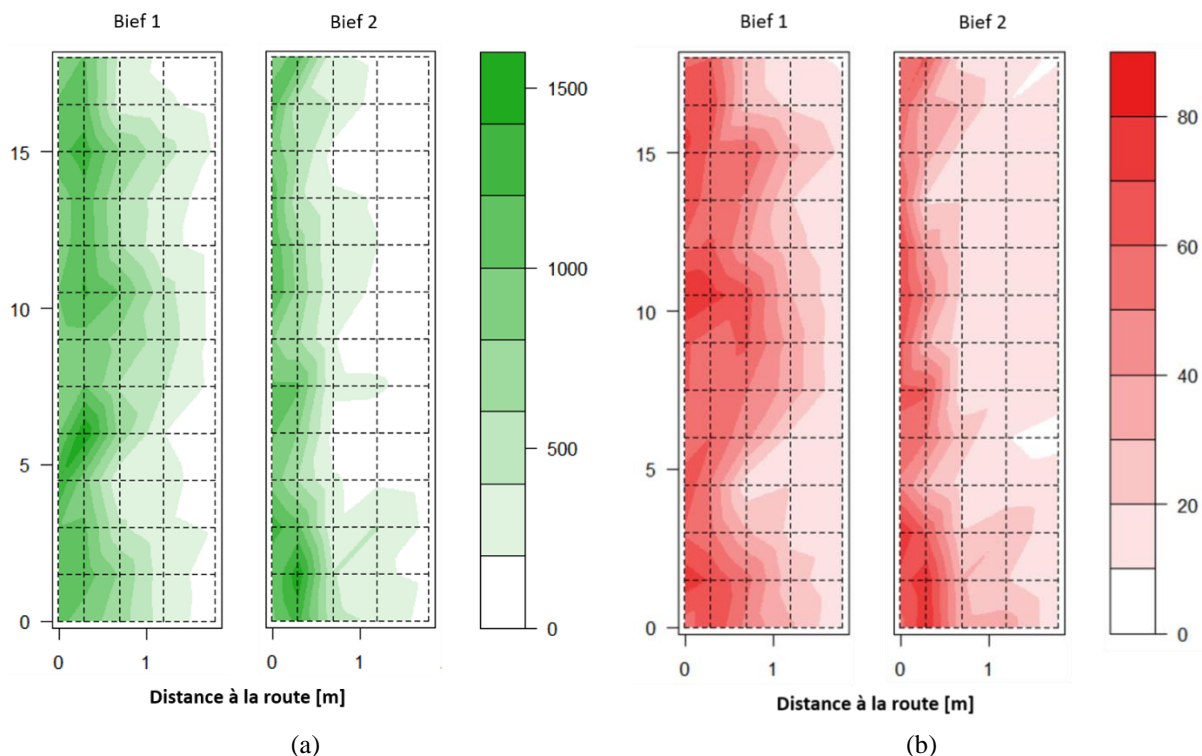


Figure 12 : Cartographies des concentrations en (a) zinc et (b) plomb [mg/kg] mesurées sur chacun des deux biefs. La route se situe dans la zone $x < 0$.

L'ensemble de ces résultats remettent en question l'intérêt de l'étude quant à l'efficacité épuratoire du fossé filtrant dans la configuration actuelle à Compans. Il ne joue finalement qu'un rôle mineur dans la gestion des eaux et des polluants provenant de la route. Le plus grand flux polluant est géré non pas par le fossé filtrant mais par l'accotement végétalisé. De plus, l'eau atteignant le fossé sera fortement diluée (moins chargée en polluants), ce qui pourrait mener à une surestimation de l'efficacité du système à retenir des polluants (dans le cas où l'eau dans le fossé est échantillonnée mais consiste surtout en la pluie tombée directement sur l'ouvrage). De plus, le fonctionnement du fossé filtrant en terme de rétention des polluants ne serait pas représentatif d'un système traitant des eaux non-diluées. **Il a donc été décidé que les fossés des biefs 1-3 ne méritaient pas d'étude poussée de qualité de l'eau.**

La contamination du sol et l'observation de la formation d'écoulements sur la route parallèlement à l'accotement au niveau du Bief 2 indiquent aussi que l'alimentation de ce bief est dégradée ce qui remet également en question l'utilité de la mesure de la qualité de l'eau au niveau de ce bief. Ainsi, pour le Bief 2, il a été décidé que l'accotement serait équipé de façon à échantillonner les eaux ruisselant à la surface mais qu'il ne méritait pas l'investissement important nécessaire prévu initialement pour l'équiper de façon à échantillonner les eaux infiltrées par un système de bougies poreuses, plaques poreuses ou de piézomètres.

4.2.2. Travaux d'aménagement du nouveau bief

Toujours attaché à l'évaluation de l'efficacité épuratoire d'un fossé filtrant, le Conseil Départemental de Seine et Marne (CD77) a commencé des travaux le 17 février 2016 sur un nouveau système de ce type à Compans, sur un bief situé en aval du bief 1 (Nouvelle noue, Figure 1). Ce nouveau bief a été conçu en

concertation entre le CD77 et le LEESU, sur la base du retour d'expérience sur le fonctionnement des fossés filtrants en place et des résultats de modélisations précédents.

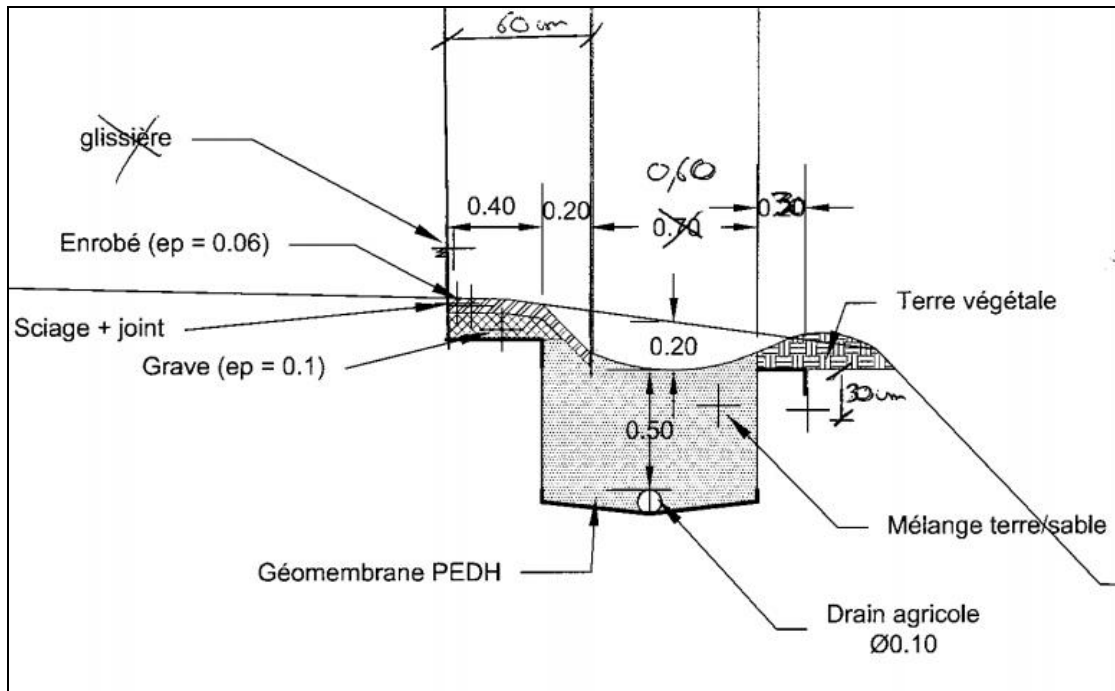


Figure 13 : Coupe de la nouvelle noue avant travaux

Sur ce bief, l'ensemble accotement+talus+fossé filtrant est remplacé par un accotement bitumé de faible largeur, acheminant les eaux par ruissellement superficiel dans une noue peu profonde munie d'un massif filtrant en mélange terre-sable d'une épaisseur de 50 cm et d'une largeur de 70 cm. Ainsi l'ensemble des eaux de ruissellement de la voirie rejoindront le massif filtrant sans perte ni prétraitement préalable.

De plus, l'extrémité de l'accotement sera en pente de façon à assurer un bon écoulement de l'eau vers la noue et une répartition uniforme de ce ruissellement. En effet, les observations sur site indiquent que suite au développement de la couche de végétation et au dépôt de matières sur les accotements, les eaux de ruissellement ont beaucoup de mal à pénétrer dans les accotements actuels, un écoulement longitudinal se formant à l'interface chaussée/accotement.

En outre, des écoulements préférentiels sont suspectés sur les biefs existants à l'interface entre le sol de l'accotement et la structure de la route. Sur le nouveau système, un débord de l'accotement imperméable au-dessus du massif filtrant devrait supprimer ce phénomène. La couche de substrat filtrant du nouveau dispositif, d'une épaisseur de 0.5 m au lieu de 0.2 m, est plus en accord avec les recommandations internationales sur ce type de système et devrait favoriser la survie des plantes.

Afin de faciliter l'échantillonnage, le massif filtrant sera entièrement étanché par une géomembrane et drainé vers une cuve par un drain agricole ou routier. Ce bief sera étudié par le CD 77 dans le cadre de l'étude menée en régie et aussi par le projet Roulépur. Il n'y aura pas la possibilité de comparer plusieurs configurations de fossé comme cela était initialement prévu par l'étude, mais il serait possible de comparer l'efficacité épuratoire et le devenir de polluants dans un système de noue filtrante avec celui d'une bande enherbée.

4.3. Dispositif métrologique mis en œuvre

4.3.1. Suivi des eaux brutes

Afin de comparer la qualité d'eau aux différents niveaux de l'ouvrage avec un système traditionnel de caniveau, les eaux brutes de la route seront collectées dans un regard dédié, alimenté par un bassin versant de voirie de 945 m² (cf. Bief 4 de la Figure 1 et Brute dans la Figure 19).

4.3.1.1. Suivi Hydrologique

Le suivi hydrologique sera fait par auget basculant avec un volume de 20L par basculement. Les données de l'auget seront enregistrées en continue.



Image 7: Auget basculant du regard eau brute

4.3.1.2. Suivi Qualité

Un suivi en continu de la qualité des eaux sera réalisé à l'aide d'une sonde multi-paramètre (conductivité, turbidité, température).



Image 8 : Sonde multi-paramètre

L'eau provenant du Bief 4 sera échantillonnée par deux échantillonneurs automatiques avec pompe péristaltique (Sigma SD 900 P), les deux pompant l'eau au niveau de l'entrée au regard. Chaque tête de prélèvement alimentera un monoflacon de 20L réfrigéré. Pour l'analyse de métaux, un flacon en plastique sera utilisé, alors que pour l'analyse de micropolluants organiques, le flacon sera en verre. Afin de pouvoir analyser tous les polluants, un flacon en verre sera mis dans un préleveur et un flacon en plastique dans l'autre pour chaque événement pluvieux échantillonné. Ces équipements seront également utilisés pour l'étape de screening de nouveaux polluants. L'alimentation électrique du dispositif expérimental est assurée par des panneaux solaires servant à recharger une batterie.

4.3.2. Suivi de l'état hydrique du système

Comme prévu initialement l'état hydrique des biefs 1-3 est suivi par des mesures en continu de succion et de teneur en eau.

Le suivi de teneur en eau se fait par une combinaison de capteurs type EC-5 et EC-5TE de Decagon. Ces capteurs utilisent respectivement la constante diélectrique et la permittivité diélectrique pour mesurer la teneur en eau. Le capteur EC-5TE mesure également la température et la conductivité. Chaque type de capteur a été étalonné en laboratoire pour le type de sol en place. Les capteurs de teneur en eau actuellement installés sont montrés dans Figure 8 - Figure 10 et récapitulés dans le Tableau 5.

Le suivi de tension se fait par capteurs à base capacitive (MPS-6 de Decagon) et par tensiomètre (T8 de UMS). Ces deux types de capteurs mesurent la tension du sol dans des gammes différentes. Le MPS-6 est plus adapté à des mesures en milieu sec, alors que les T4 et T8 sont plus adaptés à des mesures en milieu humide. Les MPS 6 sont capables de mesurer des tensions entre -9kPa et -100 000 kPa et sont considérés fiables jusqu'à -4500 kPa. Ils ne sont donc pas capables d'indiquer quand le sol est saturé. Au contraire, le T8 fonctionne mieux en sol humide, avec une gamme de mesure entre -85 kPa et 100 kPa. Il peut donc indiquer quand le sol est saturé et même quand une pression hydrostatique est présente mais ne fonctionne pas quand le sol est très sec.

Les premiers tronçons ont été équipés en capteurs en Février 2015 (Image 9 et Image 10), à l'exception des tensiomètres type T8 sur les accotements des biefs 1 et 2 qui n'ont pas encore été installés. D'autres capteurs seront à installer dans la future. Les capteurs de tension et les tensiomètres actuellement installées ou à prévoir sont présentés dans Figure 8-Figure 10 et récapitulés dans le Tableau 5 ci-après.



Image 9 : Installation de capteurs hydrologiques sur l'accotement du bief 2



Image 10 : Installation de tensiomètre T8 sous le fossé du bief 2

Bief	Type et dénomination de capteur	Type de Sol	Localisation
Bief 1	EC5 – 5	Mélange terre-sable	Accotement – 50 cm de la fin de l'enrobé de la route, 6 cm de profondeur
	EC5 – 6	Mélange terre-sable	Accotement – 150 cm de la fin de l'enrobé de la route, 8 cm de profondeur
	EC5 – 7	Terre végétale (limoneuse)	Accotement – 75 cm de la fin de l'enrobé de la route, 5 cm sous la nappe drainante
	EC5 – 8	Terre végétale (limoneuse)	Accotement – 175 cm de la fin de l'enrobé de la route, 5 cm sous la nappe drainante
	EC5TE – 5	Terre végétale (limoneuse)	Accotement – 125 cm de la fin de l'enrobé de la route, 5 cm sous la nappe drainante
	EC5TE – 6	Mélange terre-sable	Accotement – 100 cm de la fin de l'enrobé de la route, 10 cm de profondeur
	EC5TE – 7	Mélange terre-sable	Fossé – 30 cm depuis le bord du fond du fossé en direction de la route, 6 cm de profondeur
Bief 2	EC5 – 1	Terre végétale (limoneuse)	Accotement – 50 cm de la fin de l'enrobé de la route, 6 cm de profondeur
	EC5 – 2	Terre végétale (limoneuse)	Accotement – 150 cm de la fin de l'enrobé de la route, 8 cm de profondeur
	EC5 – 3	Terre végétale (limoneuse)	Accotement – 75 cm de la fin de l'enrobé de la route, 17 cm de profondeur
	EC5 – 4	Terre végétale (limoneuse)	Accotement – 175 cm de la fin de l'enrobé de la route, 17 cm de profondeur
	EC5TE – 1	Terre végétale (limoneuse)	Accotement – 100 cm de la fin de l'enrobé de la route, 10 cm de profondeur
	EC5TE – 2	Terre végétale (limoneuse)	Accotement – 125 cm de la fin de l'enrobé de la route, 21 cm de profondeur
	EC5TE – 3	Mélange terre-sable	Fossé - 30 cm depuis le bord du fond du fossé en direction de la route, 6 cm de profondeur
	EC5TE – 4	Sol argileux	Fossé - 30 cm depuis le bord du fond du fossé en direction de la route, 10 cm sous la couche de gravier (42 cm de profondeur)

Bief 3	EC5 – 9	Sol limoneux	Fossé – 15 cm depuis le bord du fond du fossé en direction de la route, 6 cm de profondeur
	EC5 – 10	Sol argileux	Fossé - 15 cm depuis le bord du fond du fossé en direction de la route, 42 cm de profondeur

Tableau 4 : Capteurs de teneur en eau actuellement installés

Bief	Type et dénomination de capteur	Type de Sol	Localisation
Bief 1	MPS6 – 3	Mélange terre-sable	Accotement – 110 cm de la fin de l'enrobé de la route, 10 cm de profondeur
	MPS6 – 4	Mélange terre-sable	Fossé – 40 cm depuis le bord du fond du fossé en direction de la route, 6 cm de profondeur
	T8 – 2	Mélange terre-sable	Accotement – 120 cm de la fin de l'enrobé de la route, 10 cm de profondeur (n'est pas encore installée)
Bief 2	MPS6 – 1	Terre végétale (limoneuse)	Accotement – 110 cm de la fin de l'enrobé de la route, 10 cm de profondeur
	MPS6 – 2	Mélange terre-sable	Fossé – 40 cm depuis le bord du fond du fossé en direction de la route, 6 cm de profondeur
	T8 – 1	Terre végétale (limoneuse)	Accotement – 120 cm de la fin de l'enrobé de la route, 10 cm de profondeur (n'est pas encore installée)
	T4 – 1	Sol argileux	Fossé - 52 cm depuis le bord du fond du fossé en direction de la route, 10 cm sous la couche de gravier (42 cm de profondeur)
Bief 3	MPS6 – 5	Sol limoneux	Fossé – 25 cm depuis le bord du fond du fossé en direction de la route, 6 cm de profondeur
	T4 – 2	Sol argileux	Fossé - 27 cm depuis le bord du fond du fossé en direction de la route, 42 cm de profondeur

Tableau 5 : Capteurs de tension actuellement installés

Afin de suivre l'état hydrique du sol dans la nouvelle noue filtrante, des capteurs de teneur en eau et de tension ont été mis en place dans 4 sections de mesures (figures 14,15,16,17,18), le 29 et le 30 septembre 2016. Pour suivre la variation de la teneur en eau dans le sol verticalement et longitudinalement ; après la division de la noue en trois parties à l'aide des redans en béton ; les capteurs de teneur en eau (tableau 6) ont été placés à différentes profondeurs 10, 20 et 40 cm et dans les 4 sections. Pour mesurer la tension, on a décidé de mettre des tensiomètres (T4 et T8) (tableau 6) à 25 et 41 cm de profondeur car en surface le tensiomètre ne mesure pas dans la gamme sèche et ils se désaturent rapidement. Dans la section B (Figure 15), deux rangées de capteurs de teneur en eau ont été installées, pour étudier non seulement la variation verticale dans la section mais aussi la variation transversale dans cette section, sachant qu'une partie de la noue se trouve au-dessous de la bordure bitumineuse.

	Type et n° capteur	Type de sol	Localisation
Capteurs de teneur en eau	EC5 - 1	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section B_82 cm depuis la glissière, 10 cm de profondeur
	EC5 - 2	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section B_82 cm depuis la glissière, 25 cm de profondeur
	EC5 - 3	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section B_82 cm depuis la glissière, 41.7 cm de profondeur
	EC5 - 4	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section B_52 cm depuis la glissière, 10 cm de profondeur
	EC5 - 5	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section B_52 cm depuis la glissière, 25 cm de profondeur
	EC5 - 6	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section B_52 cm depuis la glissière, 41.7 cm de profondeur
	EC5 - 7	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section C_77 cm depuis la glissière, 12 cm de profondeur
	EC5 - 8	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section C_77 cm depuis la glissière, 25 cm de profondeur
	EC5 - 9	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section C_77 cm depuis la glissière, 45 cm de profondeur
	EC5 TE - 1	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section A_76 cm depuis la glissière, 10 cm de profondeur
	EC5TE - 2	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section A_76 cm depuis la glissière, 24 cm de profondeur
	EC5TE - 3	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section A_76 cm depuis la glissière, 44 cm de profondeur
	EC5TE - 4	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section D_76 cm depuis la glissière, 10 cm de profondeur
	EC5TE - 5	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section D_76 cm depuis la glissière, 25 cm de profondeur
	EC5TE - 6	Mélange terre-sable	Noue filtrante_section D_76 cm depuis la glissière, 39 cm de profondeur
Capteurs de tension	T1	Mélange terre-sable	Noue filtrante_ décalé de 20 cm de la section A_76 cm depuis la glissière, 25 cm de profondeur
	T2	Mélange terre-sable	Noue filtrante_ décalé de 20 cm de la section B_75 cm depuis la glissière, 25 cm de profondeur
	T3	Mélange terre-sable	Noue filtrante_ décalé de 20 cm de la section B_75 cm depuis la glissière, 41.7 cm de profondeur
	T4	Mélange terre-sable	Noue filtrante_ décalé de 20 cm de la section C_77 cm depuis la glissière, 25 cm de profondeur
	T5	Mélange terre-sable	Noue filtrante_ décalé de 20 cm de la section D_76 cm depuis la glissière, 25 cm de profondeur

Tableau 6 Capteurs de teneur en eau et de tension installés dans la nouvelle noue filtrante

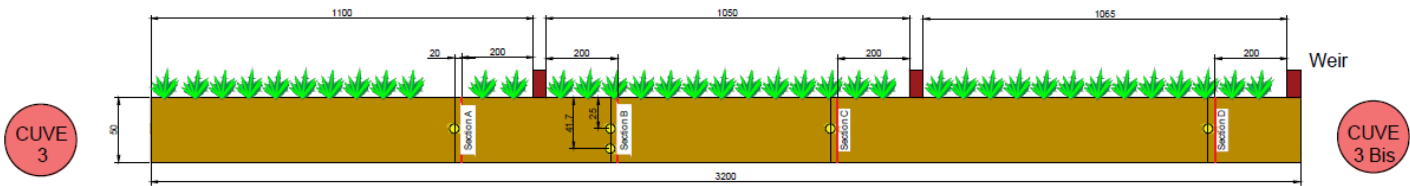
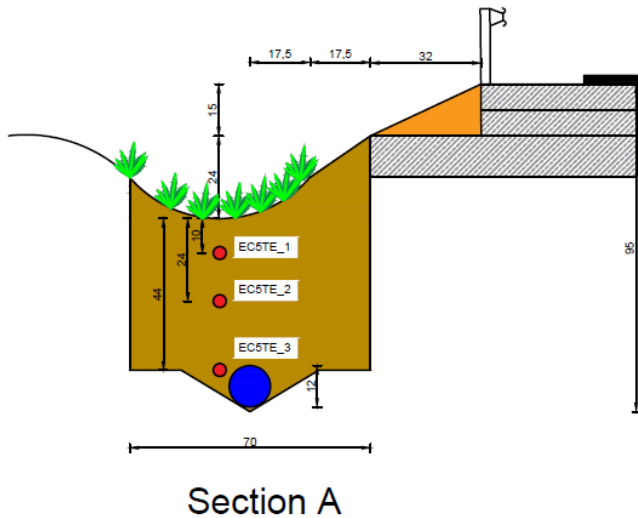
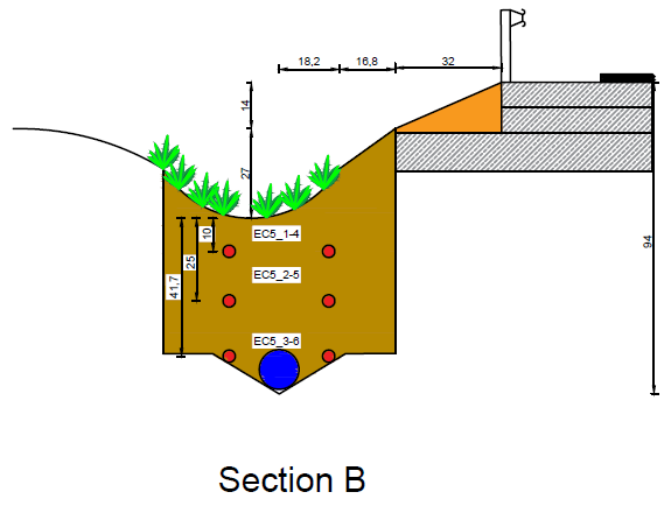


Figure 14 Coupe longitudinale de la noue filtrante



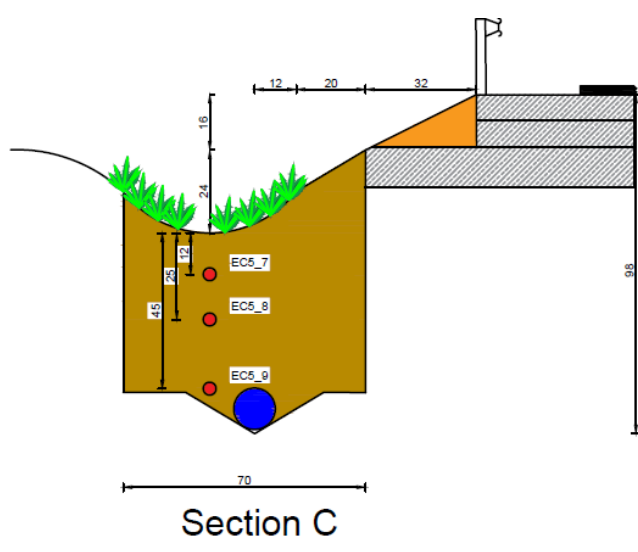
Section A

Figure 16 : Section A transversale de mesure dans la nouvelle noue filtrante



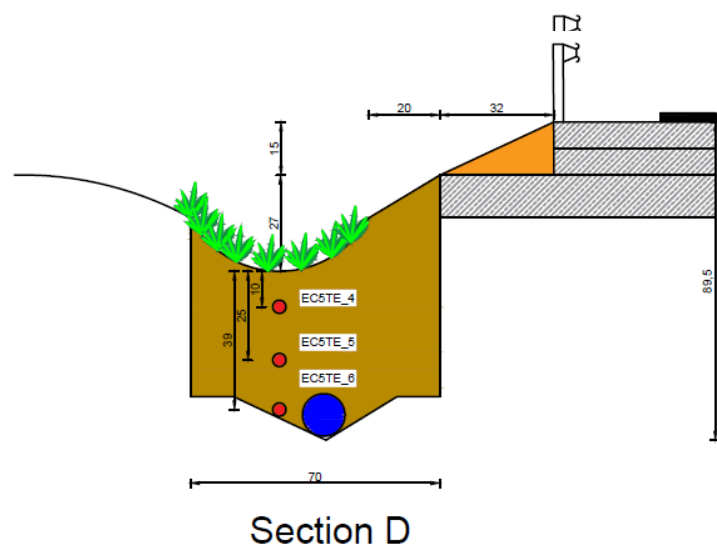
Section B

Figure 15 : Section B transversale de mesure dans la nouvelle noue filtrante



Section C

Figure 18 : Section C transversale de mesure dans la nouvelle noue filtrante



Section D

Figure 17 : Section D transversale de mesure dans la nouvelle noue filtrante

4.3.3. Suivi des eaux traitées

4.3.3.1. Mesure du débit

Au niveau du bief 1, la mesure de débit drainé de l'accotement et du fossé se fait par des augets basculant d'un volume de 1L. Ces équipements ont été installés dans le cadre du programme de mesure mené par le CD 77. La mesure de débit est en cours depuis le 24 octobre 2013 ; des dysfonctionnements du système d'enregistrement de données sur le drain de l'accotement ont eu pour résultat quelques mois manquant de données depuis le début de la période de mesure.

Comme mentionné précédemment, à ce jour, le débit sortant du drain de fossé drainant a toujours été nul. La mesure du débit dans cette cuve est ainsi jugée inutile – l'auget basculant actuellement installé dans la cuve du fossé sera donc déplacé à la cuve de la nouvelle noue où il sera utilisé pour mesurer le débit des eaux drainées.

4.3.3.2. Echantillonnage

L'échantillonnage des eaux traitées sur le bief 1 se fera dans les cuves récupérant les eaux de drainage. A l'heure actuelle, le drain du fossé a toujours été sec. De ce fait, l'échantillonnage à ce point de mesure ne se fera pas (cf. Section D.2.1).

Au niveau de l'accotement du bief 1, l'eau sortant de l'auget basculant est fractionnée afin d'échantillonner une partie du volume total sortant (Image 11, point AB1 en Figure 19). Afin d'assurer la compatibilité des matériaux du système de collecte avec les micropolluants analysés, deux types de système de fractionnement. Les macropolluants et les métaux seront analysés dans l'eau collectée par un système en plastique, alors que les micropolluants organiques seront analysés par un système en inox, en téflon et en verre. Chaque système est dédoublé afin de pouvoir mettre 2 flacons de 10L en verre et 2 flacons de 10L en plastique pour chaque événement (on utilise des flacons de 10L au lieu de flacons de 20L compte tenu du faible dénivelé entre la tablette et le fond de la cuve). Le système de fractionnement a été installé en novembre 2015. Des tests ont été faits en alimentant manuellement l'auget en eau afin de déterminer le pourcentage du volume collecté par basculement. Ces tests ont montré qu'environ 3.5% du volume total de l'eau est collecté par tuyaux (soit 7% en total pour les deux flacons verres et 7% en total pour les deux flacons plastique).

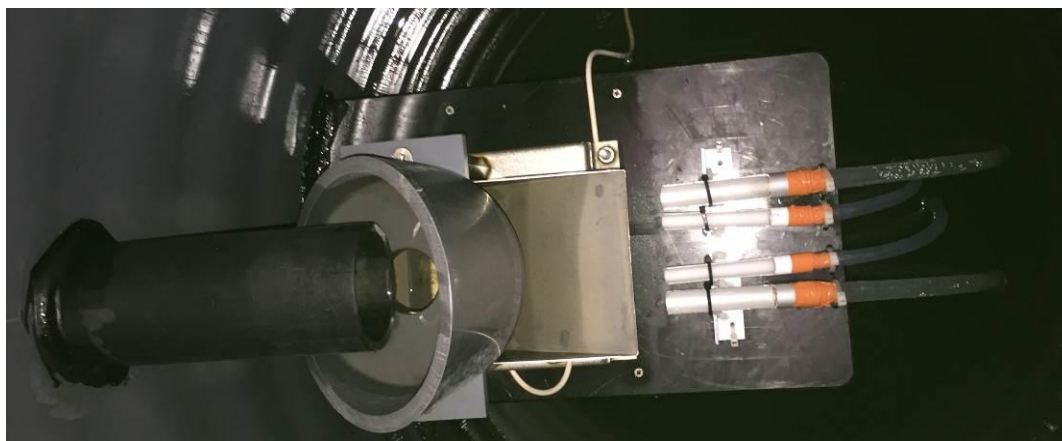


Image 11 : Système de fractionnement de l'eau dans la cuve de l'accotement

Un système semblable a été mis en œuvre dans la cuve à l'aval de la nouvelle noue (cf. Image 12 et point N en Figure 19). De même, 4 tuyaux fractionnent l'eau et sont insérés dans des flacons lors de l'échantillonnage. Ces tuyaux récupèrent chacun environ 1% du volume écoulé. Sur ce point, on utilise de flacons de 20L dans lesquels on insère un ou deux tuyaux en fonction de la hauteur de pluie prévu pour un événement pluvieux.



Image 12 : Système de fractionnement de l'eau dans la cuve de la noue

L'eau de ruissellement s'écoulant en surface des accotements végétalisés des biefs 1 et 2 sera collectée à l'aide de deux gouttières en inox sur chaque bief (soit, au total, 4 gouttières), installé au niveau du talus (Image 12). Une gouttière a été fabriquée et mise en place sur site en novembre 2015. Les premières semaines d'essai ont montré que l'installation de la gouttière à un angle permettant la collecte d'eau est délicate et que le système nécessite quelques modifications pour le bon fonctionnement. La gouttière a été réinstallée en début janvier 2016. Elle se situe directement en aval de la couche de sol traité présente sous l'accotement au niveau de la deuxième tranchée (Figure 4). Il est donc supposé qu'elle collecte l'ensemble des eaux de ruissellement et infiltrés susceptibles de sortir de l'accotement vers le fossé.

Une deuxième gouttière, de forme légèrement différente de la première, a été installée sur le bief 1 en avril 2016. Deux autres gouttières, l'une sur le bief 1 et l'autre sur le bief 2 ont été installées le 29 septembre 2016.



Image 13 : La première gouttière du bief 1

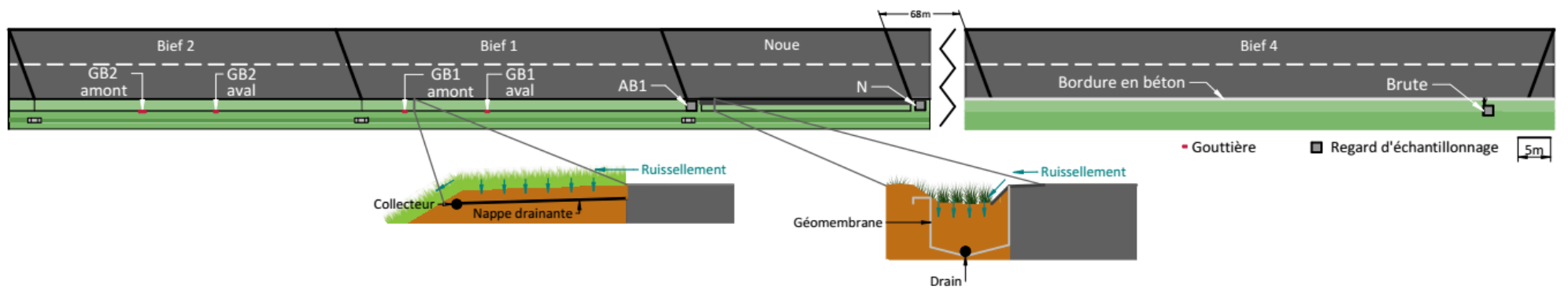


Figure 19 : schéma des points d'échantillonnage à Compans



Image 14 : La première gouttière du bief 2

Les deux mesures au niveau du substrat filtrant sont suspendues du fait de l'évolution des hypothèses sur le fonctionnement hydrologique des fossés (cf. Section 4). On considère maintenant que peu de ruissellement de la route arrive dans le fossé et que l'échantillonnage des eaux sous le substrat filtrant n'apportera que très peu d'informations pertinentes.

La réfrigération des échantillons n'est pas envisagée pour les mêmes considérations techniques (absence de branchement électrique, manque de place pour la réfrigération, risque de vol). Les échantillons seront collectés dans les 24 heures suivant l'événement pluvieux. Sur tous les points de prélèvements, l'eau pour analyse des micropolluants métalliques sera collectée dans des flacons en plastique alors que celle pour l'analyse de micropolluants organiques sera collectée dans les flacons en verre.

L'ensemble des points de prélèvement est représenté dans la Figure 19.

5. Conclusion et planning

Dans le cadre du projet ROULÉPUR, un dispositif expérimental a été mis en œuvre pour le suivi hydrique, hydraulique et de la qualité de l'eau au niveau d'un ensemble d'accotements végétalisés et de fossés filtrants à Compans (Seine et Marne). Une première phase d'évaluation a montré que le fonctionnement du système différait fortement de celui initialement prévu, nécessitant une évolution du programme de suivi initialement prévu. Un nouveau système de noue filtrante a été construit en 2016 afin de pouvoir évaluer l'efficacité d'un traitement des eaux de ruissellement de voirie par massif filtrant végétalisé.

Au final, sept points de prélèvement et de mesures de débit ont été mis en place :

- eaux de ruissellement non-traitées (eaux brutes) - bief 4 : débit et prélèvement dans regard aval d'échantillonnage,
- eaux filtrées par un accotement végétalisé - bief 1 : débit et prélèvement dans le regard de récupération du drain de l'accotement,
- eaux filtrées par une noue avec massif filtrant de 50 cm – nouvelle noue : débit et prélèvement dans le regard de récupération du drain du fond de fossé
- eaux de ruissellement de surface à quatre emplacements différents en sortie d'accotement végétalisé – biefs 1 et 2.

Les eaux brutes sont prélevées par des préleveurs automatiques, alors que les eaux filtrées sont collectées en sortie de drain par des systèmes de fractionnement et les eaux de surface sont collectées par des gouttières à la surface. Les suivis hydrauliques et hydriques se font par des augets basculants et par des capteurs hydrologiques installés dans le substrat de l'ouvrage.

Les campagnes d'échantillonnage sont en cours depuis février 2016.

Planning

Date	Événement
Septembre 2012	<i>Aménagement du site par le CG 77 et début de mesures de débit dans les cuves du bief 1</i>
Octobre 2014-Janvier 2016	<i>Etude du fonctionnement hydrologique du site, choix et installation des équipements d'échantillonnage AB1 (Cuve de l'accotement du bief 1), Brute (Bief 4) et GB2-amont (gouttière du bief 2 sur la partie amont)</i>
Février 2015	<i>Installation de la première phase de capteurs hydrologiques</i>
Novembre 2015	<i>Mise en route du regard des eaux brutes et début de mesures en continu de débit, turbidité</i>
Décembre 2015 - Janvier 2016	<i>Première campagne d'échantillonnage du sol</i>
Février 2016	<i>Début d'échantillonnage sur AB1, Brute et GB2-amont</i>
Mars 2016	<i>Construction de la nouvelle noue</i>
Avril 2016	<i>Début de mesures de débit de la nouvelle noue et mise en place du système d'échantillonnage à N (la cuve de la noue). Installation et début d'échantillonnage de GB1-amont (gouttière du bief 2 sur la partie amont).</i>
Septembre 2016	<i>Installation et début d'échantillonnage à GB1-aval et GB2-aval</i>
Mars-Avril 2017	<i>Campagne finale de l'échantillonnage du sol</i>
Mai 2017	<i>Fin de l'échantillonnage de l'eau à Compans</i>
Mai – Décembre 2017	<i>Analyse des résultats à Compans</i>