

FOSSE DE PLANTATION INFILTRANTE

PROJET PILOTE FOSSE MONTOIE

Rapport d'étude

Réalisation Groupe Sols et Substrats HEPIA

Téo Lemaître, assistant

Avec la collaboration de Marie Palman collaboratrice scientifique et Lionel Chabbey maître d'enseignement

Direction Pascal Boivin, professeur HEPIA



Table des matières

1. Introduction.....	2
1.1 Contexte	2
1.2 Enjeux et objectifs	2
2. Le mélange TP-P	3
3. La fosse de Montoie et sa mise en œuvre.....	4
4. La plantation.....	3
5. La maquette	3
5.1 Mesure de porosité et capacité de rétention en eau du TP-P.....	4
Méthodologie.....	4
Résultats	4
6. Caractéristiques hydriques de la fosse Montoie	5
6.1 Mesure de la porosité du mélange TP-P.....	5
Méthodologie.....	5
Résultats	8
7. Dynamique hydrique de la fosse de Montoie.....	8
Méthodologie.....	8
Résultats	9
8. Capacité de rétention réelle de la fosse de Montoie.....	10
9. Eau disponible pour les végétaux	10
10. Conclusion et perspectives	10
11. Annexe	11
A Rapport de suivi de plantation ; 1 ^{ère} année.....	11



1. Introduction

1.1 Contexte

La Ville de Lausanne développe le nouvel écoquartier des Plaines-du-Loup. Le plan partiel d'affectation (PPA) contraint les espaces publics à effectuer de la rétention d'eau avec un débit de restitution contrôlé de maximum 20 litres par seconde et par hectare de surfaces imperméables, pour une pluie temps de retour 10 ans. Pour limiter l'impact des travaux, la rétention est habituellement conçue à ciel ouvert. Cependant, dans ce quartier très dense (3'200 habitants/emplois sur une surface de 8'300 m²) et avec des rues souvent en pente, ce principe n'est pas toujours applicable et la rétention souterraine est à envisager.

Parallèlement, les fosses de plantation d'arbres sont souvent de qualité médiocre, et le groupe Sols et Substrats de HEPIA (Agronomie) travaille à la réalisation de sols artificiels (Technosols) très infiltrants, offrant des conditions de réalisation des fosses et de croissance des arbres optimales. Enfin, la régulation sur les eaux de bien-fonds (VSA) place en première priorité de traitement leur infiltration-épuration. Ce projet teste la possibilité de rassembler ces trois objectifs en une même application, sous forme de fosses de plantation infiltrantes disposant d'un volume de rétention d'eau conforme aux normes hydrauliques, épurant les eaux et sécurisant la réussite et le développement des plantations. Cette proposition prolonge une application déjà en place en ville de Stockholm.

1.2 Enjeux et objectifs

L'enjeu de l'étude dépasse le cadre de l'écoquartier des Plaines-du-Loup. La problématique de gestion des eaux météoriques dans l'espace public est un élément récurrent et critique dans tous les projets d'aménagement de l'espace public.

De même, l'espérance de vie des arbres en ville est souvent très faible) et l'échec des plantations est fréquent, avec un coût économique et social élevé. Les principales contraintes au développement des arbres en ville sont la mauvaise qualité des fosses de plantations : manque d'espace souterrain, terre compactée, peu de possibilités d'accès à l'eau et échanges réduits entre le sol et l'atmosphère.

La gestion des eaux urbaines dans des espaces imperméabilisés croissants devient une gageure hydraulique, faisant peser des risques d'inondation majeurs sur les agglomérations. En outre, les eaux de chaussée et de toiture sont contaminées (métaux lourds, organiques persistants) et doivent être épurées de ces contaminants avant rejet dans les eaux naturelles.

Le groupe Sols et substrats de HEPIA Agronomie travaille sur ces différents aspects et a développé un Technosol¹ réalisé à partir de déchets organiques recyclés et pyrolysés (biochars). Les recherches conduites précédemment ont montré sa très forte capacité d'infiltration, sa très grande fertilité, et la très bonne épuration des polluants routiers que l'on peut en attendre. Ce Technosol serait ici utilisé en système « terre-pierre » (65% d'éléments grossiers et 35% de Technosol), la dénomination utilisée ici sera Terra Preta-Pierre (TP-P).

L'objectif général de cette étude est de développer un système de fosse de plantation capable d'infiltrer les eaux de ruissellement météoriques et qui soit dimensionné pour répondre aux exigences normatives locales (Directive municipale). Ces exigences stipulent que « l'ouvrage est dimensionné de façon à assurer la rétention d'au minimum **34 l.m⁻² de surface imperméable** et limiter le débit sortant à **20 l.s⁻¹.ha⁻¹** ». Un objectif ultérieur sera de démontrer l'épuration des eaux infiltrées vis-à-vis de leur charge polluante.

¹ Sol artificiel



Le test des propriétés hydrauliques est l'objectif spécifique de ce projet, ces propriétés sont analysées sur une maquette de section de fosse à l'échelle 1:1 et sur une fosse expérimentale mise en place sur l'Avenue Montoie à Lausanne.

2. Le mélange TP-P

Le Technosol choisit pour ce projet est la Terra Preta 70% (TP70). Il s'agit de 70% de biochars et 30% de biomasse compostable, le tout, compostés ensemble. Le compostage permet d'activer les biochars et d'obtenir à partir des éléments constitutifs un Technosol structuré et stable. Le TP70 présente une très grande porosité structurale, et les biochars eux-mêmes peuvent être microporeux selon leur provenance (Figure 1). La fabrication du Technosol n'est pas encore industrialisée. Pour assurer la qualité du Technosol utilisé dans cette étude, la préparation s'est faite à Genève sous contrôle de HEPIA (Figure 2 A&B).

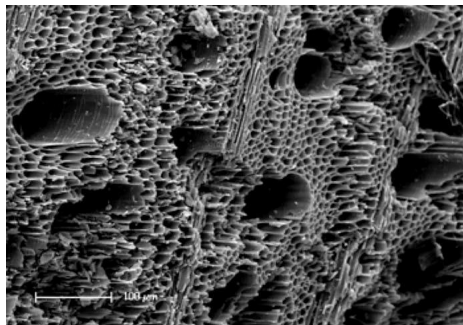


Figure 1 : Biochar de copeaux de bois vu au microscope électronique.

Les pierres, de calibre 100-150 mm, proviennent de la Carrière FAMSA à Choex (VS). Le mélange Technosol – Pierres a été effectué ici à raison de un volume de TP70 pour quatre volumes de pierre (Figure 2 C&D). Dans ces proportions (1/5- 4/5- 20%) le mélange TP-P est en mesure de stocker 204 L.m⁻³, dont 135.7 L.m⁻³ en drainage rapide et 67 L.m⁻³ de rétention dans la porosité « fine ».



Figure 2 : A et B. Processus de compostage à Genève. C et D. Pierre 100-150.

3. La fosse de Montoie et sa mise en œuvre

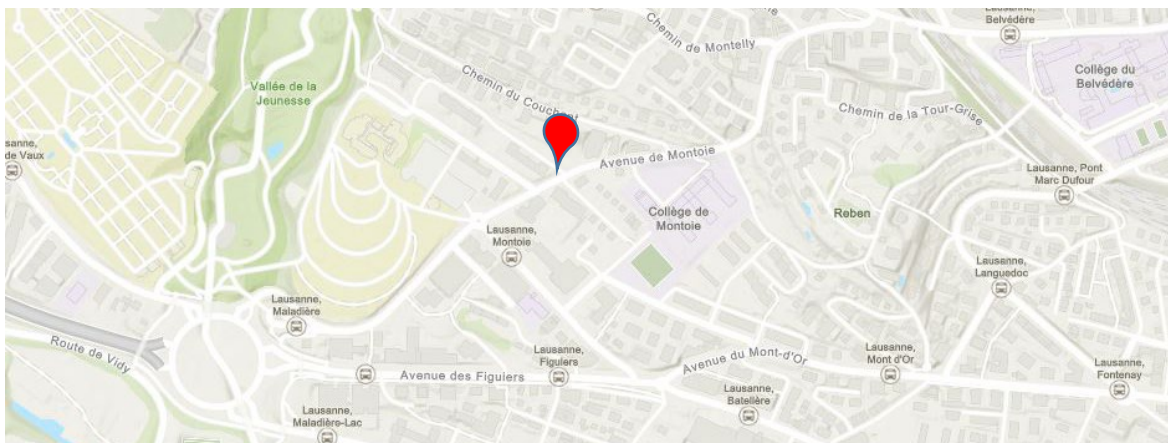


Figure 3. Plan de situation de la fosse sur l'Avenue Montoie (point rouge)

La réalisation de la fosse pilote a été effectuée à l'automne 2020 dans le cadre du chantier de réaménagement de l'espace public de l'Avenue de Montoie. La fosse pilote, d'une surface de 88 m², s'inscrit dans une pente générale de 4% (Figure 5) et collecte les eaux d'un bassin versant de 261 m² grâce à deux ouvrages de captation (Figure 6). Un drain installé en fond de fosse collecte l'eau et la dirige vers l'élément de sortie équipé d'un régulateur de débit à 20 litres par seconde par hectare



de surfaces imperméables. La fosse est également équipée d'un trop plein qui collecte l'eau dans la couche d'aération et l'évacue vers l'élément de sortie (non présent sur le plan).

La fosse se compose de 2 couches. La première, d'une épaisseur de 60 cm est constituée du mélange TP-P précédemment décrit. A cela s'ajoute une couche de 25 à 30 cm de ballast d'aération minéral (calibre 32-63mm) (Figure 6).

Le mélange TP-P est en place selon le protocole suivant :

1. Mise en place de 4 godets de pierres en fond de fosse sur une épaisseur de 20 cm ;
2. Répartition d'un godet de TP 70 de façon homogène sur les pierres ;
3. Intégration du substrat dans le système à la souffleuse ;
4. Passage du pied de mouton sans vibrations ;
5. Passage du pied du mouton avec vibrations ;
6. Répétition de l'opération sur 3 couches pour une épaisseur totale de 60 cm ;
7. Mise en place de la couche d'aération.

N.B Lors de la mise en place de la fosse avec le mélange TP70/pierre il est primordial que le remplissage soit effectué avec des matériaux suffisamment secs (40% max d'humidité pondérale du substrat) et par temps sec pour permettre une bonne répartition du Technosol entre les pierres (Figure 4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).



Figure 4: Essais de mise en place du terra preta 70 (TP70) - pierre, fosse Montoie.

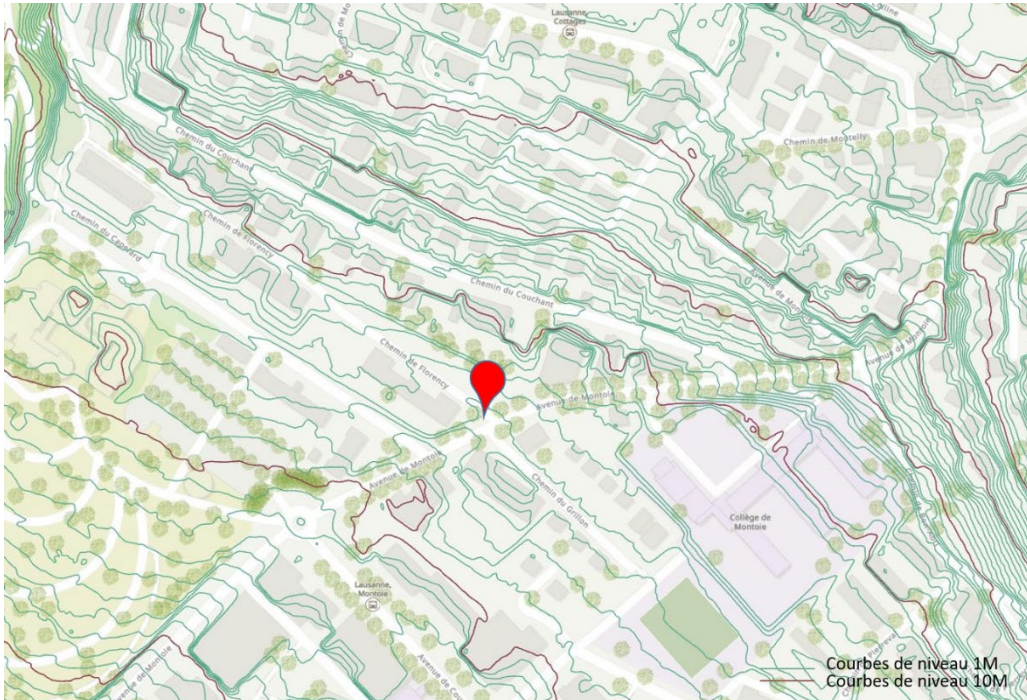
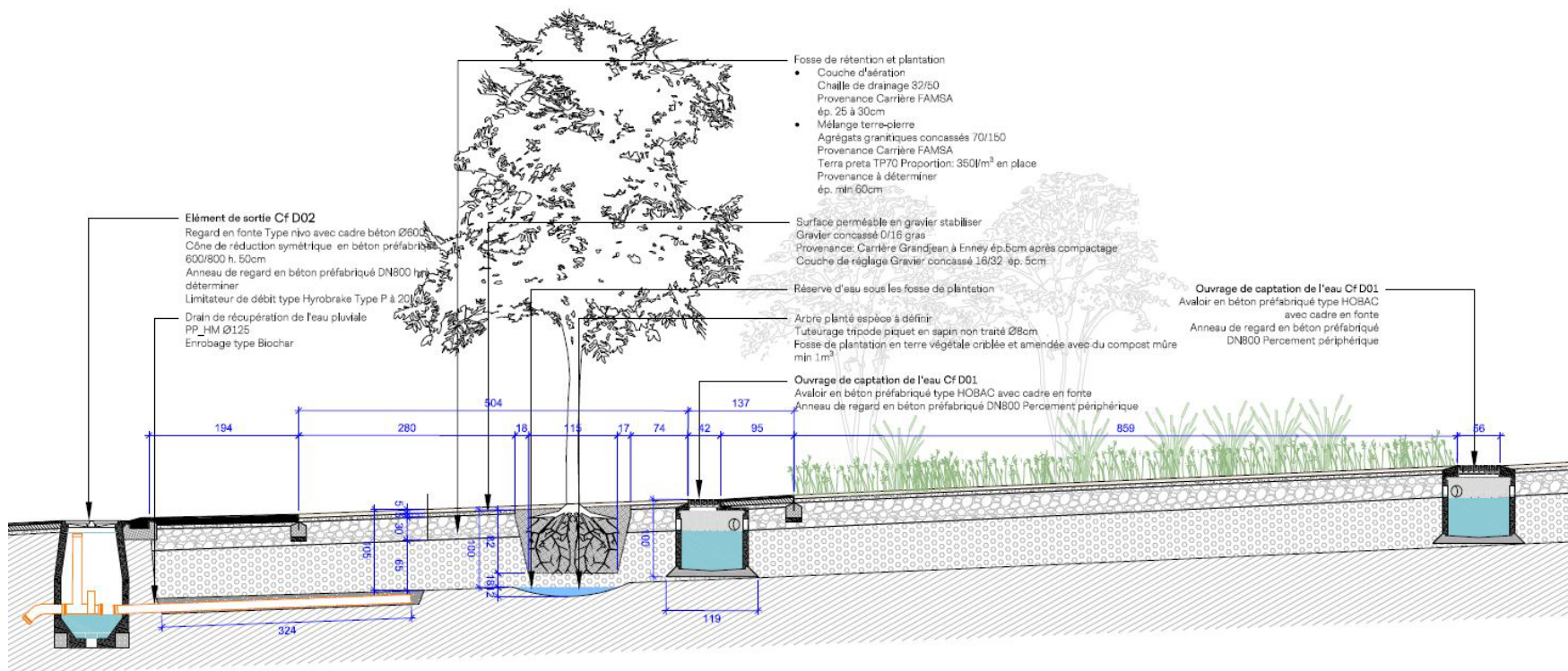


Figure 5. Dénivelé sur la fosse Montoie. Point rouge : localisation de la fosse avenue Montoie. Ligne continue verte : courbes de niveau de 1m, en rouge 10m.



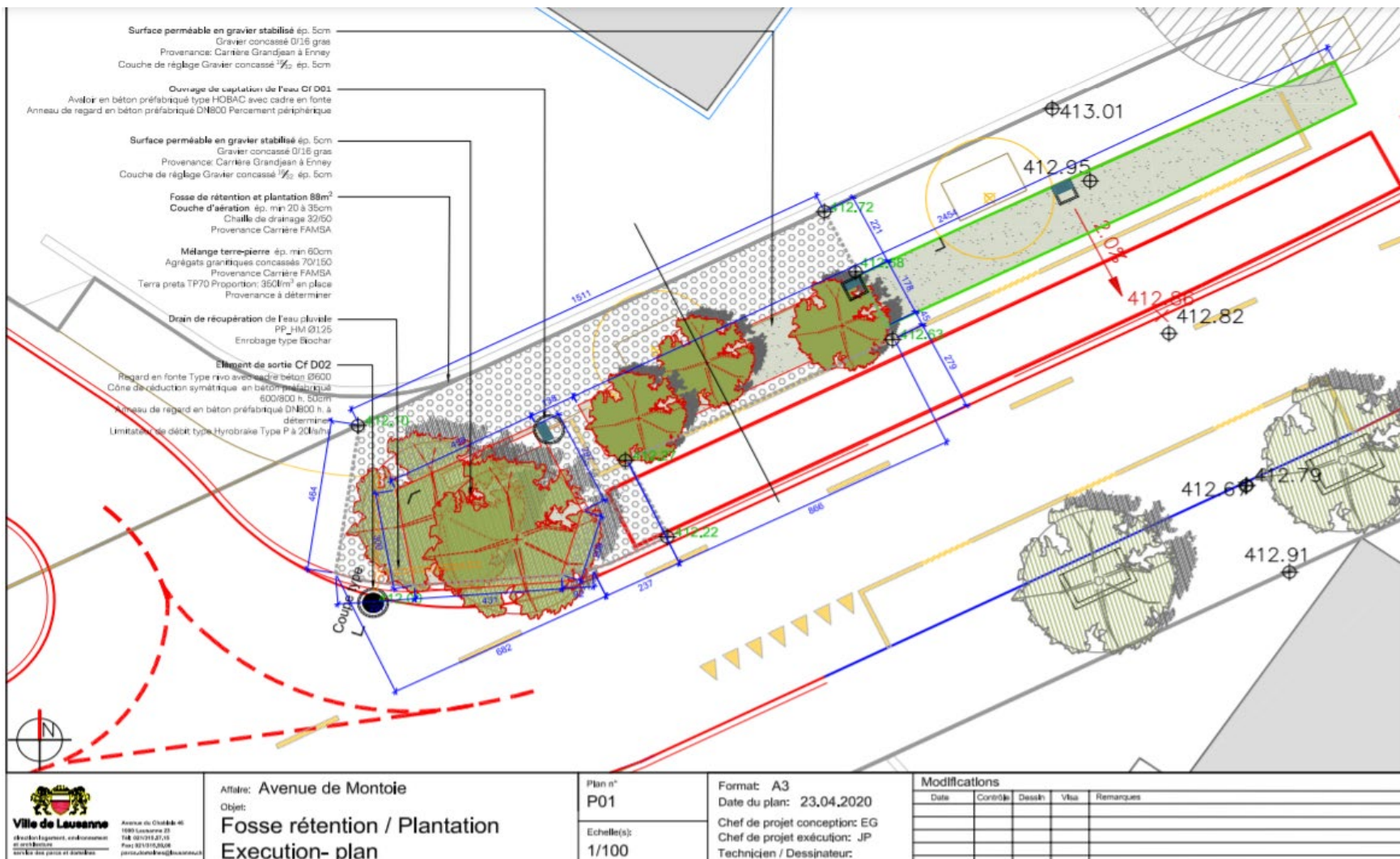


Figure 7: Plan de la fosse de Montoie, Lausanne.

4. La plantation

La plantation sur l'avenue de Montoie comporte 3 arbres ; Un *Quercus pubescens* et deux *Pinus sylvestris* (Figure 8). La description complète de la plantation ainsi que les suivis hydriques et de grossissement sont détaillés en annexe (11.A) dans le rapport annuel de suivi de plantation.



Figure 8. *Pinus sylvestris* sur avenue Montoie dans une fosse de plantation infiltrante en mélange pierre-TeraPreta70.

5. La maquette

du TP-P. Elle permet également de faciliter la réalisation de certaines expérimentations au laboratoire. La maquette a une surface de 1m² pour une hauteur de 1 m (Figure 9) et contient 0.6 m³ de mélange TP-P. La maquette a été remplie suivant le protocole appliqué sur la fosse Montoie (voir chapitre 3).

5.1 Mesure de porosité et capacité de rétention en eau du TP-P

Méthodologie

Les différentes porosités (totale et de drainage rapide) ainsi que la capacité de rétention en eau de la maquette ont été mesurées par comparaison entre le volume injecté (une fois le système amené à saturation) et le volume de vidange. On considère comme porosité de drainage rapide celle dont la vidange en écoulement libre se fait en moins de 4h40 pour se conformer aux exigences des directives hydrauliques.

Pour ce faire la maquette a été remplie (via un réservoir annexe contenant un volume connu) jusqu'à saturation du mélange TP-P. Le remplissage a été réalisé sur une période de deux heures de manière à ce que la porosité du TP70 se sature suffisamment et au moyen d'une pompe péristaltique (Prominent, max 400 l/heure). Par pesée du volume restant dans le réservoir annexe, le volume nécessaire à la saturation de la maquette et correspondant à la porosité totale a été déterminé.

La maquette a ensuite été vidangée via l'exutoire et le volume récupéré en moins de 4h30 a été mesuré (par pesée) de manière à estimer la capacité de rétention en eau du TP-P, et sa porosité de drainage rapide.

Résultats

Il a été déterminé qu'un volume de 175.8 L est nécessaire pour saturer les 0.6 m³ de TP-P de la maquette et que seulement 119.6 L ont été vidangés ensuite. Les résultats relatifs à la porosité ainsi qu'à la capacité de rétention en eau sont résumés dans le Tableau 1 ci-dessous.

Ces informations, grâce aux conditions expérimentales contrôlées, sont précises. Elles doivent néanmoins être confrontées à des mesures *in situ*.

Tableau 1: Porosité du TP-P déterminée sur la maquette (1 m³)

Porosité totale (% v/v)	Capacité de rétention (% v/v)	Porosité de drainage rapide (% v/v)
29.3	9.4	19.9



Figure 9. Maquette 1:1

6. Caractéristiques hydriques de la fosse Montoie

6.1 Mesure de la porosité du mélange TP-P

Afin de confronter les données théoriques et de tester la validité de la fosse de Montoie vis-à-vis des exigences légales, la porosité ainsi que la capacité de rétention en eau du TP-P a été mesuré sur le site de Montoie. Des différences peuvent apparaître par rapport à la mesure sur la maquette, en raison de la pente de 4% de la fosse. Dans ces conditions, en fonction du débit d'entrée et de la perméabilité interne au matériau, l'eau peut arriver au niveau du trop plein aval en ayant saturé le TP-P selon une horizontale ou parallèlement à la surface, ce qui offre un volume de rétention exploré différent. Les différences de porosité interne au TP-P ne devraient pas se manifester mais il est bon de croiser les mesures.

Méthodologie

La porosité du système (en considérant une perte par infiltration nulle) peut être mesurée en saturant la fosse en eau tout en connaissant le volume d'eau injecté.

Pour mesurer la hauteur d'eau dans le TP-P, 4 sondes HOB0© (Onset water level logger 0-4m) mesurant la hauteur d'eau dans la fosse ont été disposées en fond de fosse dans des tubes PVC percés (Figure 10 et Figure 11).

Afin de contrôler la présence d'infiltration et le cas échéant de la quantifier, la première étape a consisté à remplir la fosse par les 2 éléments de captation d'eau à un débit de $300 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ (débit correspondant à la pluie décennale sur le bassin versant) jusqu'à débordement par le trop plein et d'observer la variation de hauteur d'eau dans la fosse, vidange fermée. Cette étape nous a permis de mettre en évidence **une infiltration importante en fond ou bordure de fosse** (vidange complète de la fosse en 40 minutes).

L'infiltration observée après remplissage a permis d'associer à chaque cote HOBO, centimètre par centimètre, une vitesse de perte d'eau par infiltration (en hauteur par unité de temps). Cette information a ensuite été utilisée pour corriger le volume de remplissage : à chaque unité de temps est associée une augmentation de hauteur observée pour un volume injecté, et il est possible de déduire du volume injecté le volume perdu par infiltration à cette cote par unité de temps. Ceci sous hypothèse que les variations de hauteur lues par les HOBO sont essentiellement dues à ces deux effets (remplissage ou infiltration), et minoritairement à des redistributions latérales de l'eau dans la fosse. Ces données ont ensuite été rassemblées pour les différentes sondes HOBO, ce qui permet de calculer une porosité moyenne du TP-P toutes cotes et sondes confondues (donc insensible aux redistributions latérales de l'eau) grâce à l'équation ci-dessous :

$$P = ((V_{\text{rempl}} + V_{\text{inf}}) * S) / Q \quad \text{Eq. 1}$$

Avec P, la porosité en pourcent, V_{rempl} la vitesse de remplissage à une hauteur donnée en millimètre par minute, V_{inf} la vitesse d'infiltration à la même hauteur exprimé en millimètre par minute, Q le débit d'injection en litre par minute et S la surface de la fosse en mètre carré.

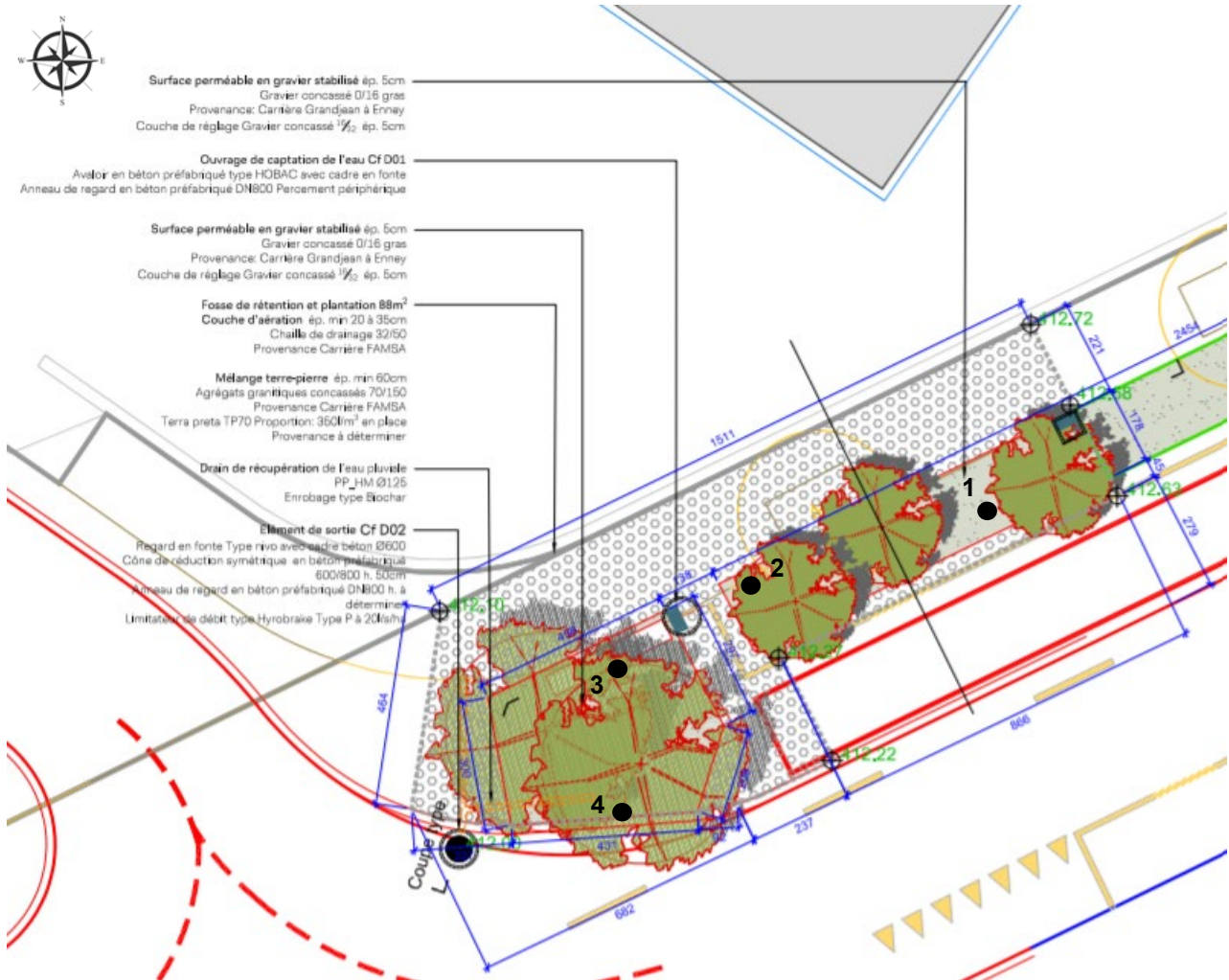


Figure 10. Emplacement des sondes HOB0 sur la fosse de Montoie.



Figure 11. Mise en place des tubes PVC contenant les sondes HOBO

Résultats

Le Tableau 2 résume les résultats de porosité théorique ainsi que ceux mesurés sur la maquette et la fosse. Les porosités sont relativement proches et varient entre 20.4 et 29.3% v/v (soit ± 20 à 30% d'écart selon les mesures), elles sont plus grandes sur les mesures qu'en théorie.

Tableau 2 : Récapitulatif des porosités de la fosse de Montoie, de la maquette et théorique.

	Porosité totale (%)	Capacité de rétention (%)	Porosité de drainage rapide (%)
Théorique	20.4	6.8	13.6
Maquette	29.3	9.4	19.9
Fosse Montoie	25.1	-	-

7. Dynamique hydrique de la fosse de Montoie

Méthodologie

De manière à étudier la dynamique de l'eau dans la fosse de Montoie en tenant compte de la pente (4%), les hauteurs d'eau mesurées par les sondes ont été corrigées de la pente grâce à l'équation 2 ci-dessous, afin de représenter les hauteurs d'eau par rapport à un plan horizontal (hydrostatique).

$$H_{corr} = H_m + (\sin(2.29^\circ) * d)$$

Eq. 2

Avec H_{corr} la hauteur corrigée, H_m la hauteur mesurée et d la distance de la sonde HOBO à l'exutoire de la fosse.

Résultats

La correction des hauteurs d'eau a permis de tracer en Figure 12 les cotes de remplissage observées au cours du temps par rapport au niveau hydrostatique. Ceci permet de constater dans un premier temps qu'au niveau de la sonde 4, la plus proche de l'exutoire la hauteur d'eau ne dépasse pas les 40 cm à 25 minutes alors que la fosse est vraisemblablement à saturation à ce stade puisque de l'eau s'échappe par le trop plein. Cette observation pourrait s'expliquer par le fait que la sonde 4 est relativement excentrée, en bas d'une légère pente (non quantifiée) dans l'axe Nord-Sud.

La Figure 12 permet aussi de constater que la fosse se remplit et se vidange plus rapidement au niveau des sondes les plus proches de l'aval des ouvrages de captation depuis lesquels est injectée l'eau. Cela est vraisemblablement lié au fait que le débit d'entrée est légèrement supérieur à la conductivité hydraulique du mélange TP-P, ce qui conduit à une montée en charge légèrement plus rapide que l'écoulement de l'eau vers l'aval. Néanmoins comme expliqué précédemment les injections d'eau qui ont été réalisées sur la fosse l'ont été au débit de la pluie décennale. Or on peut constater sur la Figure 12 que l'eau s'infiltré relativement bien dans la fosse sans débordement aux abords des ouvrages de captation d'eau ni passage dans le ballast. De plus la pente des plans d'eau est relativement parallèle à la surface du sol : le volume poral est bien exploré. Il semblerait donc que le TP-P puisse absorber sans problème le débit d'eau correspondant à la pluie décennale. La seule limitation est l'arrivée d'eau au débordement aval avant exploration complète du volume

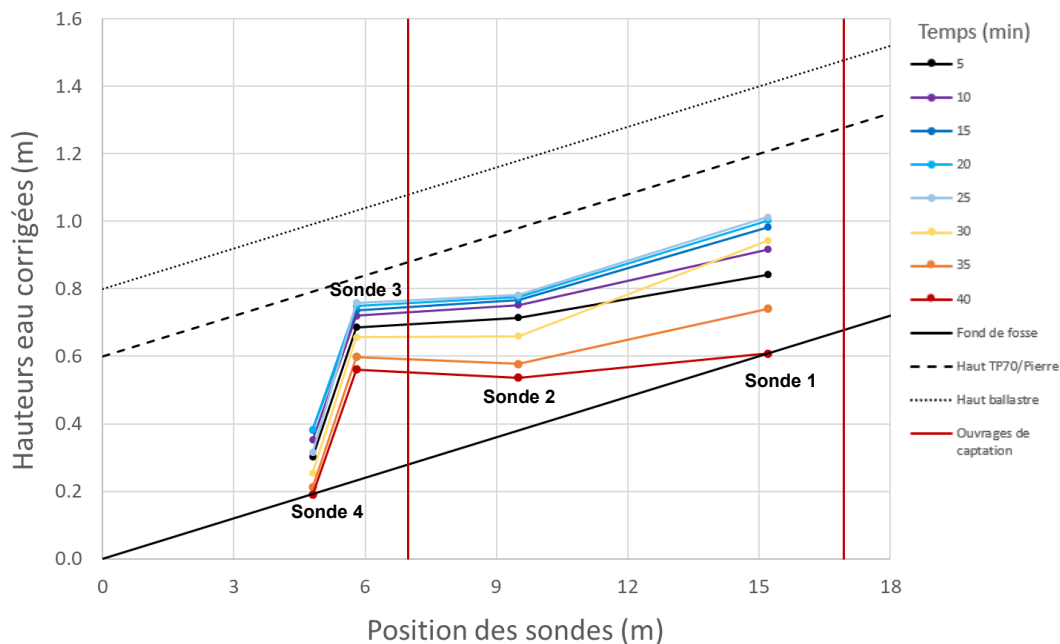


Figure 12. Niveaux d'eau dans la fosse en phase de remplissage et de vidange.

du TP-P, en raison de la pente, ce qui justifie de se préoccuper en cas de forte pente de cloisonner les fosses qui ne sont pas perpendiculaires à la pente.

Enfin, la vidange s'est faite plus rapidement que sous débit limité (norme des 20 l.s-1), et peut donc se faire à fortiori dans ce temps-là.

8. Capacité de rétention réelle de la fosse de Montoie

En tenant compte de la pente, la fosse à saturation est en mesure de contenir 9,37 m³ d'eau au total. Elle respecte donc l'exigence de rétention d'eau de 34 L.m⁻² de bassin versant (soit 8'874 litres pour un bassin versant de 261 m²). Cependant il est important de préciser que la pente réduit significativement le potentiel de rétention de la fosse puisqu'une partie du TP-P n'est pas explorée par l'eau. Ce facteur devra impérativement être pris en compte lors de la construction des futures fosses en pente.

Tableau 3 : Capacité de rétention en eau du TP-P et de la fosse de Montoie

	TP-P	Fosse
Capacité de rétention (L.m ⁻³)	251	177.5

9. Eau disponible pour les végétaux

La capacité de rétention dans la porosité « fine » de la fosse Montoie offre de l'eau disponible pour les végétaux sur une période d'environ une semaine (8.74 jours) en période estivale. Ceci en considérant les caractéristiques de la fosse soit: 1) plantation de trois arbres (évapotranspiration moyenne évaluée à 60 litres/jour), 2) dont le total du volume disponible est utilisé par les racines et 3) suite à une précipitation qui aurait rempli la totalité de la porosité fine.

N.B Le suivi des besoins en arrosage reste nécessaire pour la bonne croissance de la plantation.

10. Conclusion et perspectives

Ces calculs mettent en évidence que : (1) Les fosses sont capables d'absorber un volume supérieur à la pluie de temps de retour 10 ans, offrant ainsi une bonne protection du système de collecte. (2) La porosité de drainage rapide du TP-P permet d'assurer un nouveau volume de rétention suffisant en cas de nouvel épisode pluvieux important quelques heures après une première pluie (qui aurait saturé la porosité fine). (3) La capacité de rétention dans la porosité « fine » offre de l'eau disponible pour les végétaux pendant un minimum d'une semaine (8.74 jours) en période estivale bien qu'un suivi des besoins en arrosage reste nécessaire.

D'autre part la pente de la fosse exerce une influence importante sur sa capacité de rétention en eau. Il convient d'adapter le dimensionnement au cas par cas en fonction de cette contrainte et de la longueur de la fosse. Un système de cloisonnement ou de paliers intermédiaire peut être envisagé dans certains cas.

L'hypothèse de gérer les eaux des espaces rue avec des systèmes arables de ce type sous les trottoirs semble donc réaliste et pourra être déployé dans les projets à venir.

11. Annexe

A Rapport de suivi de plantation ; 1^{ère} année