



RAPPORT DE MISE EN ŒUVRE

PLANTATION D'ARBRES RUE JOSEPH-GIRARD, CAROUGE
DANS UNE FOSSE INTÉGRANT LA GESTION DES EAUX DE PLUIE

21 octobre 2021

MANDANT

Office cantonal de l'eau
Service de la planification de l'eau
(OCEAU)

Office cantonal de l'environnement
Service de la géologie, sols et déchets
(OCEV)

**Office cantonal de l'agriculture
et de la nature**
Service du paysage et des forêts
(OCAN)

Ville de Carouge
Service de l'urbanisme

MANDATAIRES

apaar_ paysage et architecture
et Robert Perroulaz, dendrologue



CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Cadre de l'étude

Le bureau apaar_ paysage et architecture a été mandaté par la Ville de Carouge en décembre 2020 pour l'accompagnement du bureau d'ingénieurs BCPH dans la mise en œuvre d'une arborisation en lien avec la réfection des trottoirs de la Rue Joseph-Girard, à la hauteur du nouveau théâtre.

Sur initiative de la Ville de Carouge, ce projet déjà bien avancé, a été adapté dans l'esprit de la démarche Eau en Ville menée par l'office cantonal de l'eau (OCEAU). L'enjeu principal était d'étudier la possibilité d'intégrer la gestion des eaux pluviales de la chaussée et du trottoir dans la fosse de plantation afin d'alimenter les arbres et leur offrir des conditions de croissance optimales, tout en limitant au maximum le rejet des eaux pluviales dans le réseau unitaire.

Ce projet a également permis d'appréhender les premiers aspects techniques de ce genre de réalisation inspirées du système dit «de Stockholm» développé par Björn Embrén et ainsi d'intensifier la collaboration autour du triptyque Eau-Sol-Arbre.

Le présent rapport décrit l'évolution, l'application et l'adaptation du principe de fosse de Stockholm dans un projet en cours d'exécution, dans ce cas : la construction du nouveau théâtre de Carouge.

Afin d'aborder ce projet pilote de manière interdisciplinaire, les partenaires suivants ont été conviés à participer à cette étude :

Partenaires



Ville de Carouge
Service de l'urbanisme



Office cantonal de l'eau
Service de la planification de l'eau
(OCEAU)

Office cantonal de l'environnement
Service de la géologie, sols et déchets
(OCEV)

Office cantonal de l'agriculture et de la nature
Service du paysage et des forêts
(OCAN)



BCPH ingénierie



apaar_ paysage et architecture
et Robert Perroulaz, dendrologue

SOMMAIRE

CONTEXTE DE L'ÉTUDE	3
DÉMARCHE EAU EN VILLE	7
ENJEUX ET OBJECTIFS	9
CONCEPT ET ÉVOLUTIONS	11
AVANT-PROJET	11
PROJET FINAL	15
MISE EN ŒUVRE	21
VERSION RÉALISÉE	29
ASPECT FINANCIER	43
CONCLUSION	45
ANNEXE 1 : FICHES PRODUITS	49
ANNEXE 2 : FICHE TECHNIQUE	51

DÉMARCHE EAU EN VILLE

L'office cantonal de l'eau mène, depuis octobre 2019, la démarche Eau en Ville, qui vise à impulser un changement de pratiques durable notamment en matière de gestion et de valorisation des eaux de pluie.

Faisant l'objet d'une fiche action du plan climat cantonal et d'une feuille de route de l'office cantonal de l'eau, cette démarche a pour objectif, à terme, de faire de Genève un territoire exemplaire en matière de gestion et d'intégration de l'eau en milieu urbain.

Pour y parvenir, un certain nombre d'actions sont nécessaires, dont l'accompagnement et le financement de projets pilotes. C'est le cas du projet de la rue Joseph-Girard. Une collaboration étroite s'est instaurée entre la Ville de Carouge, ses mandataires, et les trois offices du département du territoire concerné par le triptyque Eau-Sol-Arbre, soit l'OCEAU, l'OCEV et l'OCAN.

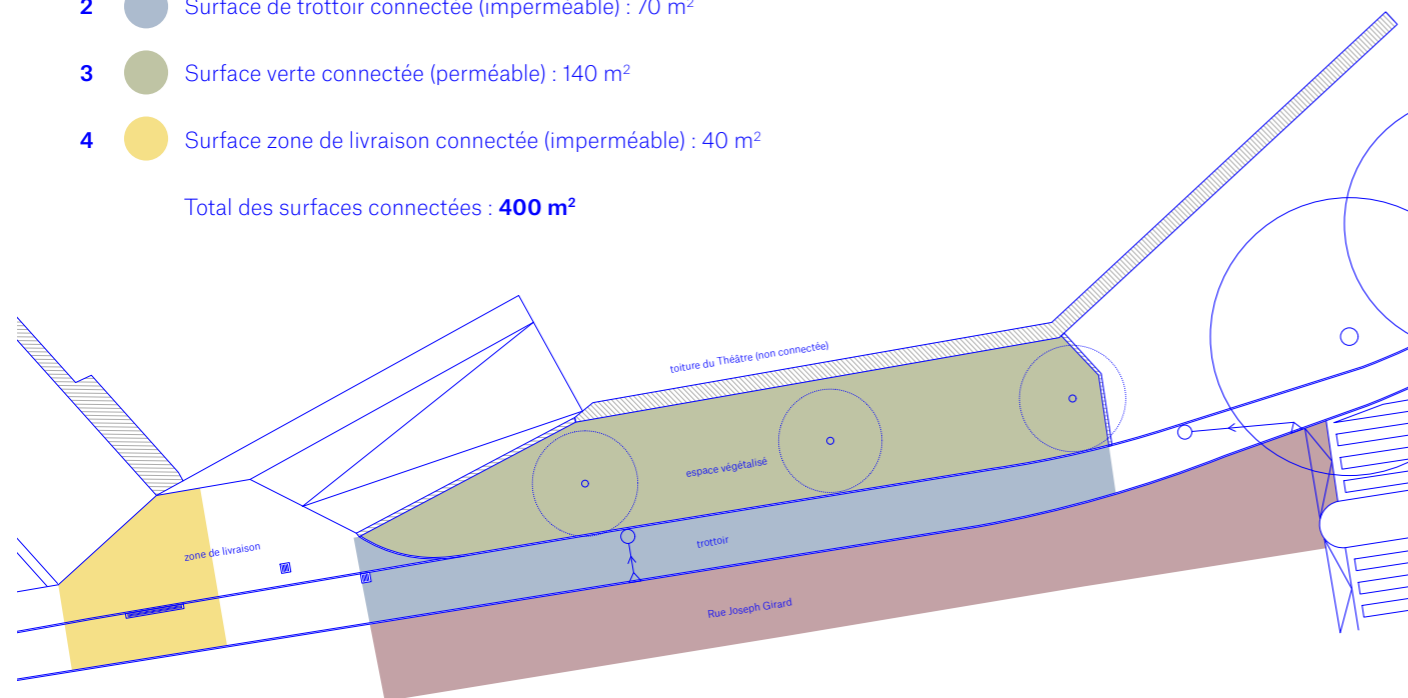
Le fonds intercommunal d'assainissement (FIA) a été sollicité et a pris en charge les honoraires complémentaires nécessaires à cette démarche. L'OCEAU a financé le présent rapport de suivi de réalisation.

D'autres projets pilotes sont en cours et seront documentés.
Pour en savoir plus sur la démarche Eau en Ville :

<https://www.ge.ch/eau-ville-changement-pratiques-applications>

- 1 ● Surface de route connectée (imperméable) : 150 m²
- 2 ● Surface de trottoir connectée (imperméable) : 70 m²
- 3 ● Surface verte connectée (perméable) : 140 m²
- 4 ● Surface zone de livraison connectée (imperméable) : 40 m²

Total des surfaces connectées : **400 m²**



Quelques calculs de volume d'eau et de précipitations :

Les surfaces connectées en fonction de leur coefficient de ruissellement :

Surface perméable 140 m² x coefficient de ruissellement de 0,15 = 21 m²
 Surface imperméable 260 m² x coefficient de ruissellement de 0,90 = 234 m²

Soit un total de surface connectées en fonction des coefficients de ruissellement de 255 m².

Volume d'eau annuel :

255 m² x 1000 L/m² = **255'000 L/an**

soit **255 m³/an**

Les volumes acheminés vers la fosse sont de l'ordre de 255 m³ en une année.

Volume d'eau pour une pluie d'orage de 30 minutes et temps de retour de 10 ans (145L/sec/ha) :

Volume d'eau pour une pluie d'orage de 30 minutes et temps de retour 10 ans : 145L x 1800 sec x 0,0255 ha = **6'655.5 L**

soit **6,65 m³**

Les volumes acheminés vers la fosse sont de l'ordre de 6 m³ lors d'un orage de 30 minutes.

Les enjeux globaux

Face aux enjeux de changements climatiques et au manque de place dans les villes (réseaux, voiries, bâtis), il est toujours plus compliqué d'offrir des milieux favorables à la plantation d'arbres. Ces milieux sont nécessaires à leur croissance et à leur santé, sans quoi ils ne peuvent pleinement offrir les nombreux services écosystémiques attendus pour acclimater la ville. L'eau de pluie est trop souvent abordée comme une contrainte plutôt qu'une ressource, un élément à évacuer le plus rapidement possible plutôt qu'à la maintenir sur place, au bénéfice des arbres, du sol et de la nappe phréatique. Pourtant, des solutions résilientes existent déjà et permettent une approche plurielle.

Développée par la ville de Stockholm depuis maintenant 20 ans, la fosse de Stockholm est un dispositif qui permet de combiner des objectifs d'arborisation et de gestion des eaux pluviales. La fosse favorise les échanges gazeux grâce à un sol bien aéré et à forte porosité. La décomposition des racines et de la matière organique, dans ce milieu bien aéré, combinée à la récolte et au stockage des eaux de pluie, constituent l'apport nutritionnel et hydrique idéal pour l'arbre, par l'intermédiaire de son système racinaire. Face à ces préoccupations, les services concernés déclenchent des projets pilotes qui permettront de se former à ces techniques, de les tester, d'en comprendre le fonctionnement et de les adapter aux spécificités locales.

A ce titre, la plantation de trois arbres dans la Rue Joseph-Girard à Carouge, a été l'occasion de se lancer avec une première réalisation genevoise sur le principe de la fosse de Stockholm.

Principes généraux de la fosse de plantation

Le projet prévoit la récolte des eaux pluviales de la Rue Joseph-Girard et de son trottoir. Induit par les pentes et altitudes existantes, les niveaux ne sont pas remaniés dans le cadre du projet. Il a été possible de récolter les eaux de ruissellement sur la moitié de la chaussée (1). Les eaux de trottoir longeant le théâtre sont entièrement envoyées dans la fosse (2). A cela s'ajoutent les eaux de pluie tombant sur la surface verte (3) qui, par infiltration, alimentera la fosse en eau. Une surface supplémentaire a pu être connectée en cours d'exécution au niveau de la zone de livraison du Théâtre (4).

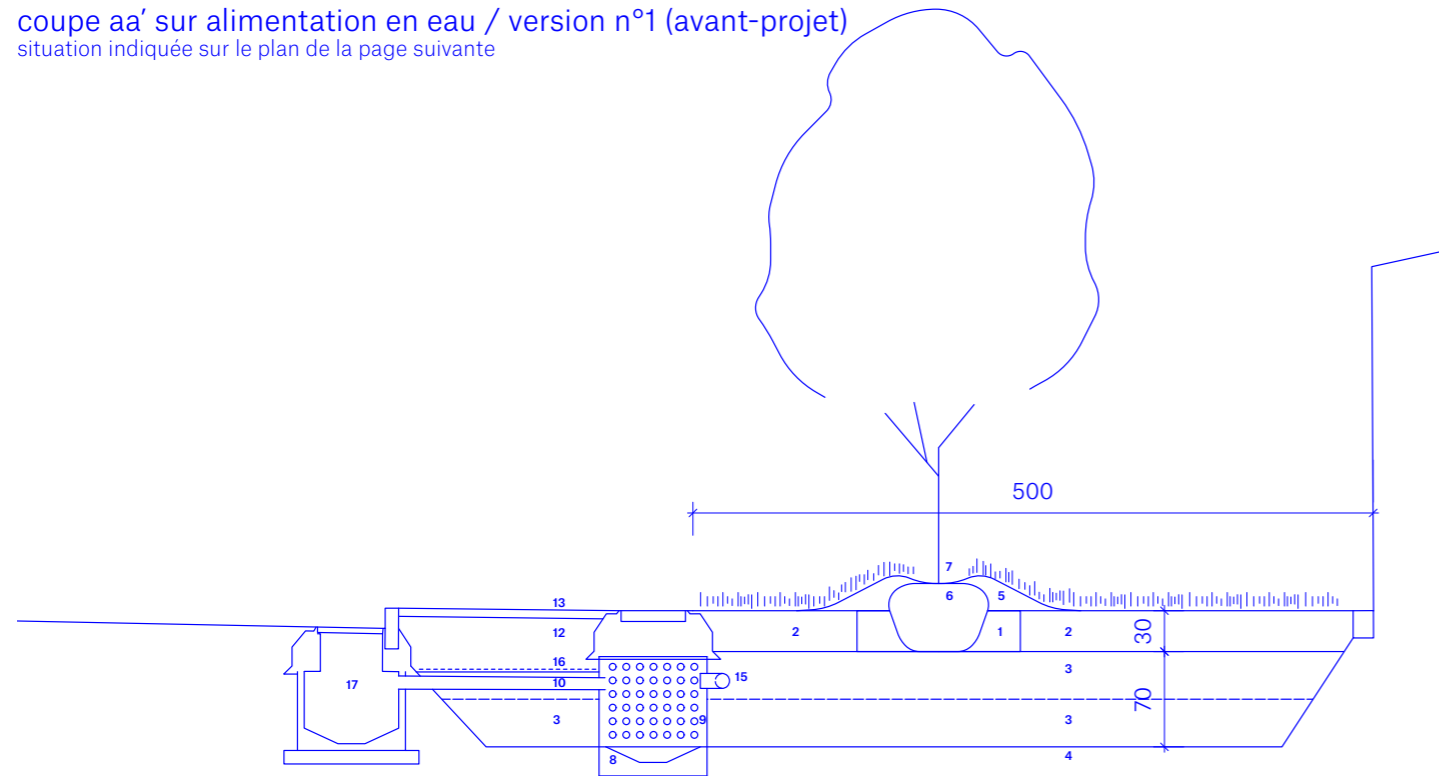
La fosse récolte les eaux de surfaces sur une superficie totale de 400 m² (cf. détail de quantitatif ci-contre). Les volumes d'eau de pluie correspondant devront pouvoir être gérés dans la fosse tout en permettant la croissance des arbres dans de bonnes conditions.

Avec ce double objectif de gestion des eaux et support de plantation, une fosse inspirée des fosses dites de Stockholm est proposée.

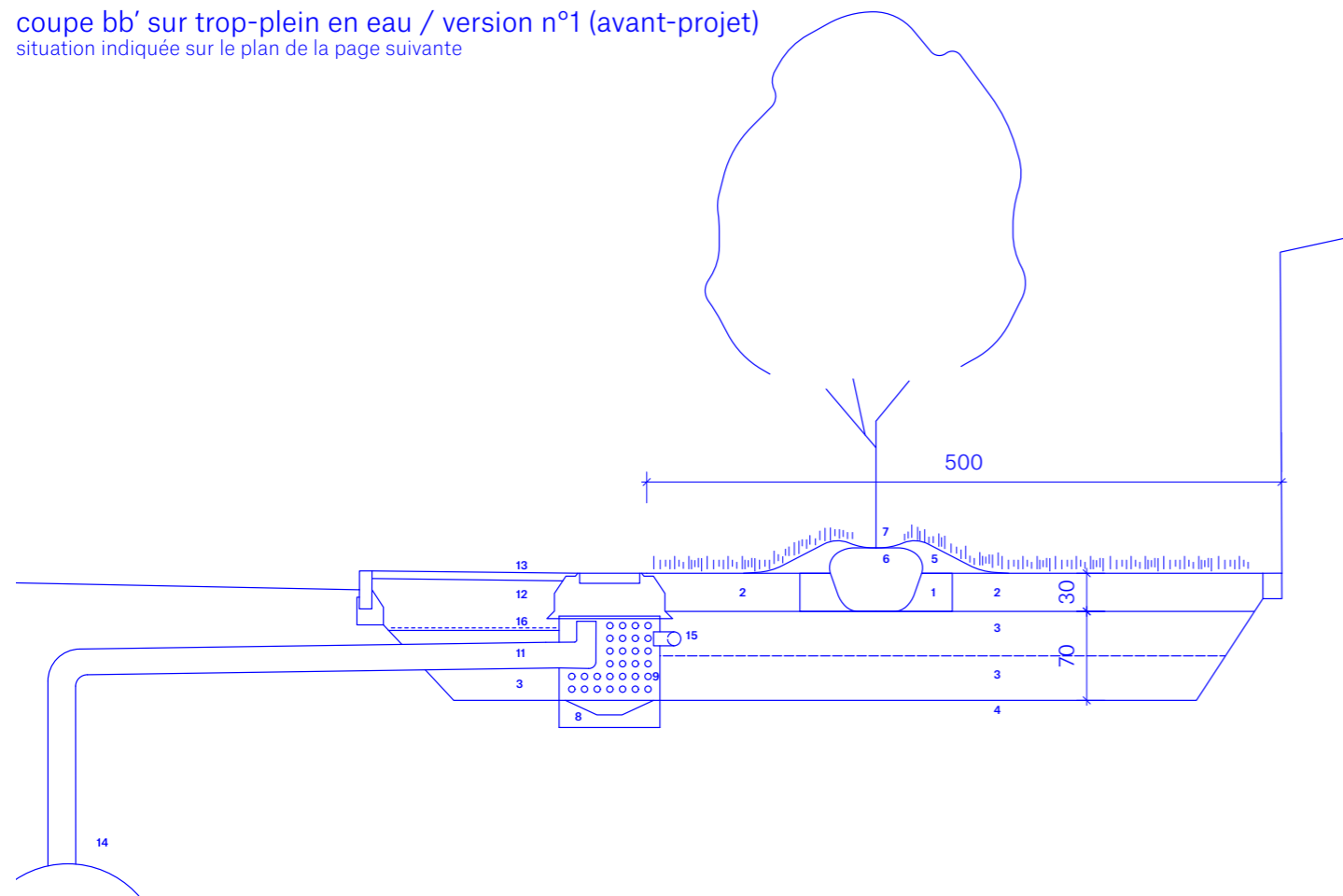
Elle est constituée d'une couche de matériaux grossiers (cailloux) qui permet l'infiltration et le stockage de l'eau dans une importante part de vide (estimée à environ 30%). Les apports de compost au sein de la couche de cailloux et la terre végétale en surface permettent l'apport de nutriments des arbres et l'ensemencement de la surface. Le sol aéré et l'alimentation en eau de pluie apportée par les surfaces connectées, sont garants d'une bonne croissance des plantations.

Les différents points ont été développés dans le cadre de ce projet, jusqu'à la réalisation et son suivi, dont le présent rapport constitue une synthèse.

coupe aa' sur alimentation en eau / version n°1 (avant-projet)
situation indiquée sur le plan de la page suivante



coupe bb' sur trop-plein en eau / version n°1 (avant-projet)
situation indiquée sur le plan de la page suivante



Avant-projet

L'enjeu de récupération des eaux pluviales est de collecter, de stocker et d'infiltrer dans la fosse de plantation les eaux de ruissellement d'une partie de la route, du trottoir ainsi que celles tombant directement sur la surface verte.

Il est possible (vis-à-vis des niveaux existants et des pentes à respecter) de collecter environ 150 m² de surfaces imperméables de route. Ces eaux sont collectées via deux sacs de route (17) et acheminées directement vers deux regards de diffusion (8) placés en limite de trottoir côté fosse, qui récoltent également les eaux du trottoir. Les surfaces imperméables de trottoirs connectées (13) sont d'environ 110 m².

Le reste des surfaces connectées est constitué de la partie végétalisée. Sur cette partie, les eaux météoriques sont directement infiltrées dans la terre et dans la partie inférieure de la fosse.

En cas de saturation en eau de la fosse, un trop plein (11) est installé dans le regard de diffusion en direction du collecteur d'eaux mélangées existant (14) sous la route. Les canalisations existantes connectées au le collecteur sont réutilisées afin d'éviter des travaux de fouilles supplémentaires.

La fosse est quant à elle composée de deux épaisseurs de 35 cm de pierres (3) pour former la couche de base, qui s'étend aussi sous le trottoir. Une épaisseur de 30 cm de couche végétale est ensuite mise en place (2). Les arbres sont posés sur la couche de base (6). Une fosse de plantation est réalisée lors de leur plantation (1) ainsi qu'une cuvette d'arrosage (7).

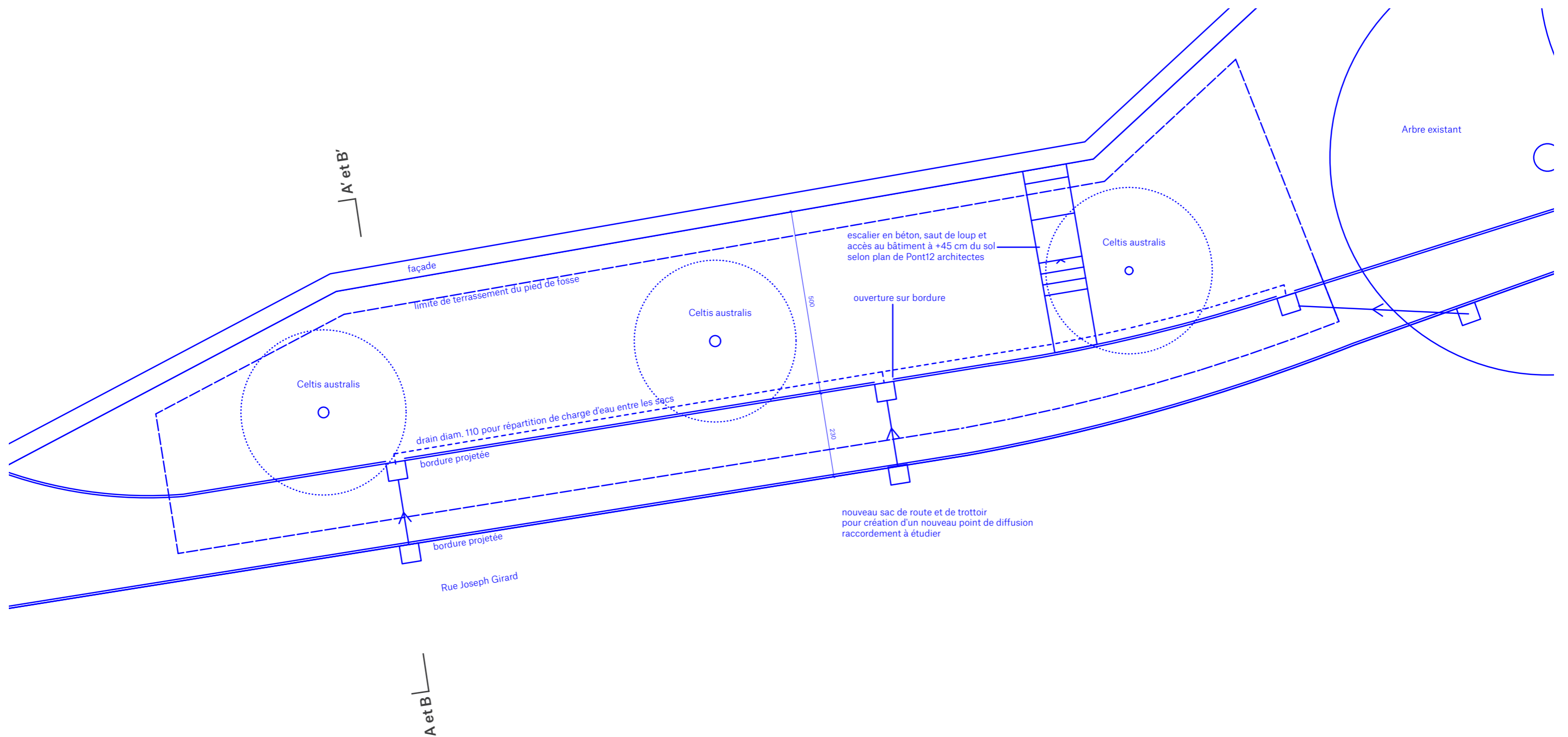
La couche végétale (2) est constituée en terre végétale de 30 cm. Une variante en gravillons concassés 2-6mm mélangés avec du compost et du biochar est également proposée.

Ce mélange est inspiré des substrats utilisés par la ville de Stockholm. Extrêmement léger et drainant il favorise les échanges gazeux entre le sol et la surface ainsi que l'infiltration de l'eau.

Le plan de la page suivante présente l'avant-projet de la fosse qui a initié les discussions techniques entre mandataires et offices de l'État concernés (OCEAU, OCAN, OCEN).

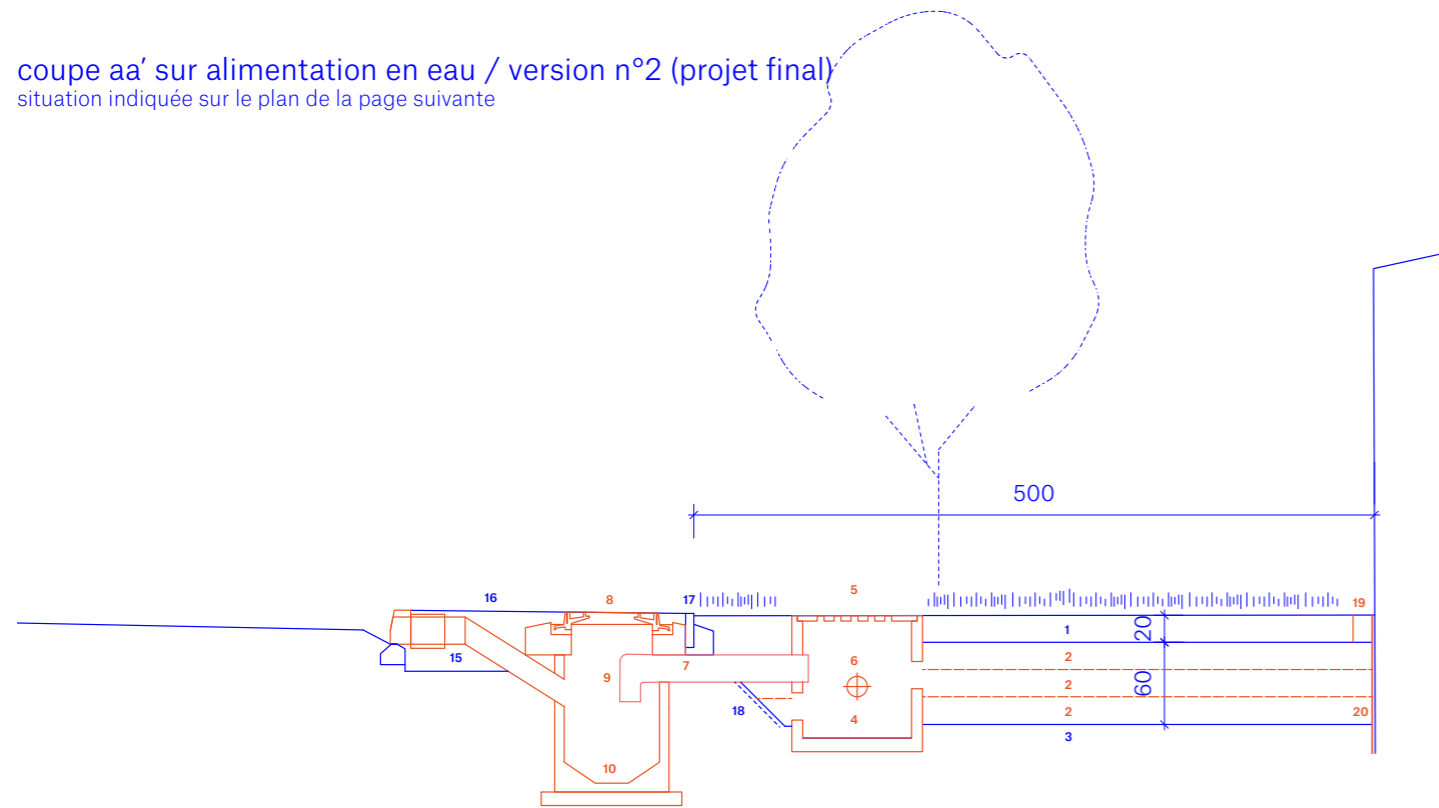
- 1 fosse pour plantation de l'arbre en terre végétale amendée de 20% de compost dim. 120x120 cm prof. 30 cm
- 2 sol selon variante 1 : technosol composé de 75% de gravillons concassés 2-6mm, 12,5 % de compost, 12,5% de biochar 0-10 mm
sol selon variante 2 : terre végétale amendée de 20% de compost ep. 30 cm
- 3 couche de base composée de 70% pierres calcaires criblées 90-150 mm compactées par couche de 35 cm, 15% d'un mélange de compost et de biochar injecté au jet haute pression, 15% d'air, mise en place et compactage en deux couches de 35cm chacune
- 4 fond de forme décompacté pour favoriser l'infiltration dans le sous-sol
- 5 butte en terre végétale amendée de 20% de compost pour couvrir la motte (à réaliser lors de la plantation des arbres)
- 6 motte de l'arbre posée sur la couche de base, la motte est légèrement surélevée par rapport au sol afin d'assurer les conditions racinaires adaptées au Celtis australis (qui n'aime pas avoir les pieds dans l'eau)
- 7 cuvette d'arrosage, prévoir un arrosage manuel lors des périodes sèches durant les 3 premières années
- 8 regard d'eau pluviale collectant les eaux de la route et du trottoir
- 9 percements du regard d'eau pluviale sur 60 cm de haut pour diffusion de l'eau dans le sol
- 10 arrivée des eaux de la route via canalisation PVC diam. 110 ou 150 mm
- 11 trop plein réalisé avec canalisation PVC existante diam. 200 mm
- 12 fondations du trottoir
- 13 couches de finition des enrobés
- 14 collecteur existant diam. 1500 mm
- 15 drain diam 110 mm pour répartition de la charge d'eau entre les 3 sacs
- 16 géotextile tissé 200 gr/m²
- 17 sac de route projeté

plan de sol de la fosse de plantation / version n°1 (avant-projet)

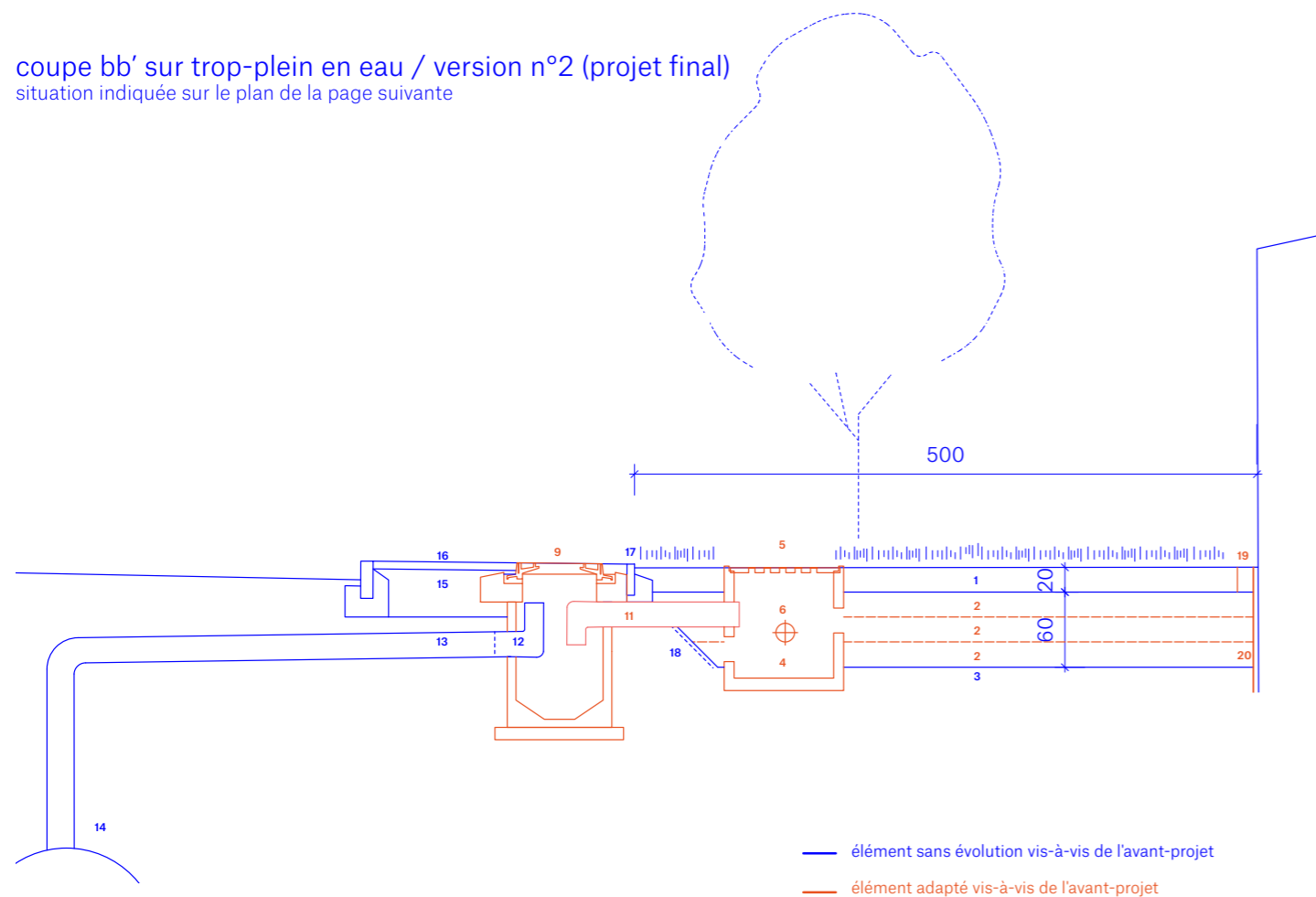


CONCEPT ET ÉVOLUTIONS

coupe aa' sur alimentation en eau / version n°2 (projet final)
situation indiquée sur le plan de la page suivante



coupe bb' sur trop-plein en eau / version n°2 (projet final)
situation indiquée sur le plan de la page suivante



— élément sans évolution vis-à-vis de l'avant-projet
— élément adapté vis-à-vis de l'avant-projet

Projet final

Suite aux différentes discussions entre les acteurs et partenaires, plusieurs évolutions notables ont été apportées au cours du projet.

L'extension de la fosse avec la mise en place de la couche de base sous le trottoir est abandonnée. Ce volume supplémentaire (qui n'est pas très conséquent en raison des encaissements de la route et des réseaux SIG présents) est nécessaire ni pour la gestion de l'eau, ni pour les arbres. En effet, le projet bénéficie déjà d'un volume de fosse généreux. La suppression de cette partie permettra également à l'entreprise de tenir les plannings. Les travaux seront simplifiés tout en évitant le chevauchement entre la fosse et le trottoir.

En considérant une surface totale de 140 m² et les épaisseurs ci-contre, il est possible d'estimer le volume de fosse à environ 110 m³. Multiplié par un coefficient de porosité moyen de 30%, le volume de vide disponible dans la fosse est d'environ 33 m³. Il sera l'espace qui permettra l'introduction et le stockage de l'eau dans le sol. Au vue des valeurs de précipitations indiquées en page 8 (6,65 m³ d'eau pour un orage de 30 min temps de retour 10 ans), il est possible d'interpréter que la fosse est capable de gérer de tels événements pluvieux.

Dans le cas d'un projet demandant une rétention de 10 L/sec/ha, il serait demandé une rétention d'eau de 10 m³ pour les mêmes surfaces connectées. Le projet permet la rétention d'un volume 3 fois supérieur à cette valeur tout en apportant des plus-values pour l'arbre, ce qu'un projet classique ne pourrait pas proposer (structure alvéolaire enterrées par exemple).

La récupération et l'alimentation de la fosse par les eaux de route se font dorénavant par des sacs gouffre déportés (8) sous le trottoir. La coupe type de ce sac gouffre est illustrée en annexe 2. Ces sacs permettent la mise en place d'un coude plongeur (9) qui retiennent les flottants et d'un fond dépotoir (10) pour le dépôt des particules lourdes avant l'envoi de l'eau dans la fosse. La canalisation (7), qui relie le sac de route et le regard de diffusion peut également agir comme trop-plein (11), si la fosse est saturée en eau.

- 1 terre végétale ep. 20 cm pour semis type Miniflora
- 2 couche de base composée de : 70% pierres calcaires criblées 80-150 mm (environ 600 L/m³) et d'un mélange de compost et de biochar (environ 250 L/m³) biochar 1-30 mm certifié EBC Agrobio de chez Swiss Biochar ou équivalent et compost d'écorce ref. 301 de chez Ricoter ou équivalent
mise en œuvre de couches de 20 cm avec compactage des pierres calcaires criblées puis injection du substrat sec au souffleur (test à réaliser), 3 opérations au total sont nécessaires pour constituer la couche de 60 cm
- 3 fond de forme décompacté pour favoriser l'infiltration dans le sous-sol
- 4 regard de diffusion diam. 80 cm, type puits perdu en béton avec fond position et altitude finale à confirmer
à confirmer la mise en place d'un géotextile tissé sur le pourtour pour éviter le lessivage des matières fines de la fosse vers le puits
- 5 couvercle fonte en nid d'abeille type VonRoll 2815 ou équivalent
- 6 drain diam 150 mm pour diffusion de l'eau sur la longueur de la fosse, modèle et implantation à confirmer
- 7 arrivée des eaux de la route via canalisation PVC diam. 200 mm à positionner le plus haut possible
- 8 sac-gouffre déporté selon modèle 5.11 OCGC. Position sur emplacement de sacs existants
- 9 coude plongeur
- 10 fond dépotoir
- 11 trop plein entre regard de diffusion et sac-gouffre déporté lorsque la diffusion n'est plus possible
- 12 trop plein réalisé avec canalisation PVC diam. 200 mm avec coupe vent. Prévoir l'adaptation possible de la hauteur du coude
- 13 raccordement sur canalisation existante
- 14 collecteur existant diam. 1500 mm
- 15 fondations du trottoir
- 16 couches de finition des enrobés
- 17 bordure affleurante permettant le passage des eaux du trottoir directement dans la fosse, terre mise à -3 cm de la bordure
- 18 géotextile non tissé 200 gr/m²
- 19 pied de façade en gravier
- 20 Delta MS pour protection du pied de façade

plan de sol de la fosse de plantation / version n°2 (projet final)

- a. escalier en béton, saut-de-loup et accès au bâtiment à +45 cm du sol
- b. chambre SIG + zone de travail libre
- c. saut-de-loup
- d. protection antiracinaire selon demande SIG. Type Root Control h.100cm ou équivalent (à valider)

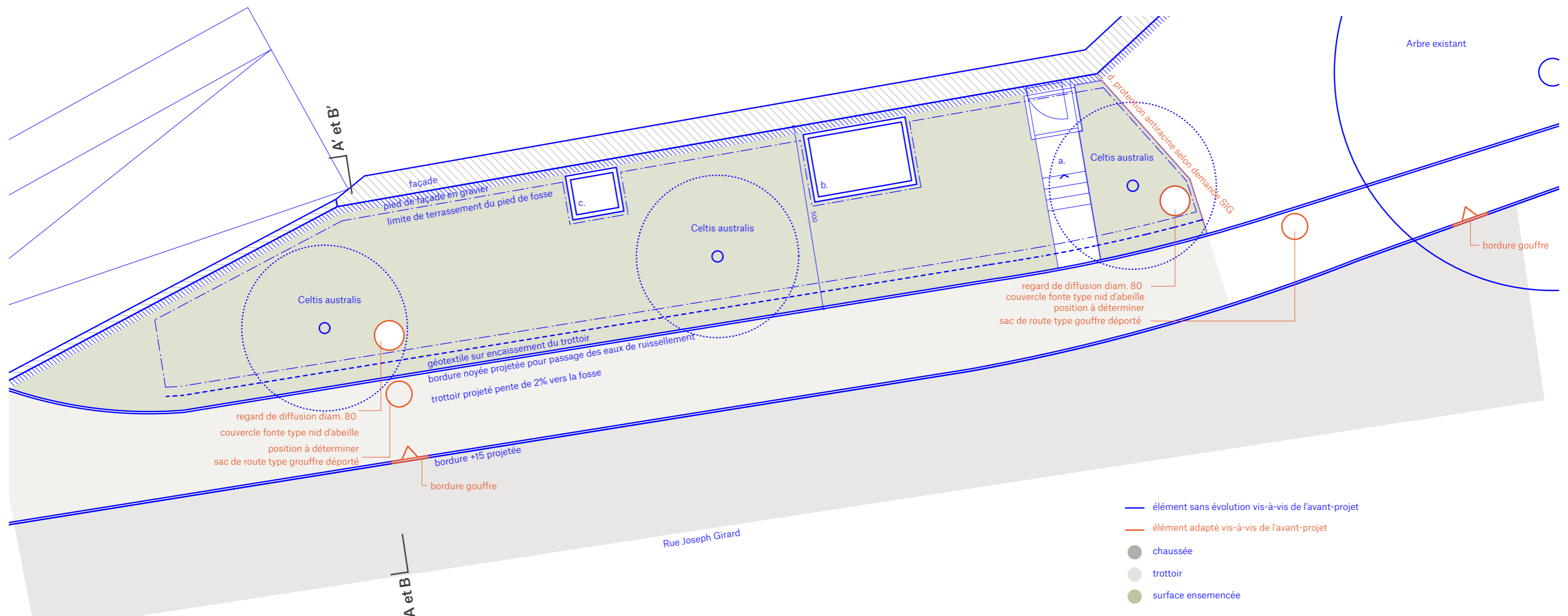
Les regards de diffusion sont déplacés dans la fosse afin de diffuser l'eau au cœur du système. La grille alvéolée des regards (9) permet de bons échanges gazeux entre le sol et la surface.

Un drain (6) relie les regards de diffusion, toujours dans le but d'améliorer la répartition de l'eau au sein de la fosse, au plus proche du besoin des arbres.

La mise en place de la couche de base (2) est désormais prévue en trois couches de 20 cm chacune (au lieu de deux couches de 35 cm) afin de faciliter la pénétration du mélange compost / biochar dans les interstices et d'améliorer l'homogénéité de la couche.

Concernant le pied de façade, un Delta MS est prévu pour la protection du sous-bassement (20). Une bande de gravier dans une chemise en géotextile est prévue pour le pied de façade.

Le plan ci-dessous et la planche suivante présentent le projet validé de la fosse, avant exécution.



CONCEPT ET ÉVOLUTIONS

plan des réseaux de la fosse de plantation / version n°2 (projet final)

- a. escalier en béton, saut-de-loup et accès au bâtiment à +45 cm du sol
- b. chambre SIG + zone de travail libre
- c. saut-de-loup
- d. protection antiracinaire selon demande SIG. Type Root Control h.100cm ou équivalent (à valider)
- e. introduction électrique dans le bâtiment

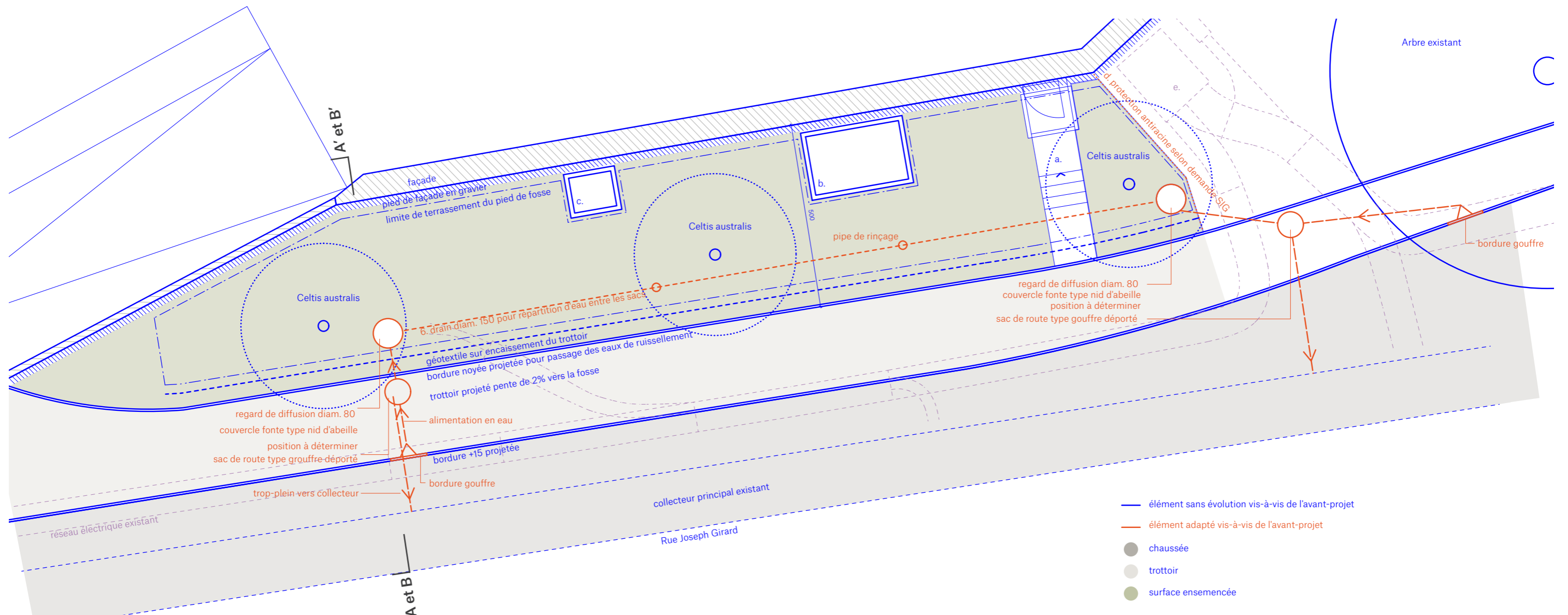
Lors de cette étape, une recherche sur les matériaux a été effectuée.

Pour le Biochar, une provenance de Suisse a été privilégiée. Dans le cas présent le Biochar a été commandé à Belmont-sur-Lausanne. Des producteurs de ce matériau sont disponibles également dans le canton de Genève.

Pour les pierres formant la couche de base, une comparaison entre différentes carrières a été opérée. Ne représentant pas de grosse quantité, il n'était pas possible de demander une granulométrie particulière. Le choix de matériau a dû être fait parmi les produits disponibles des carrières.

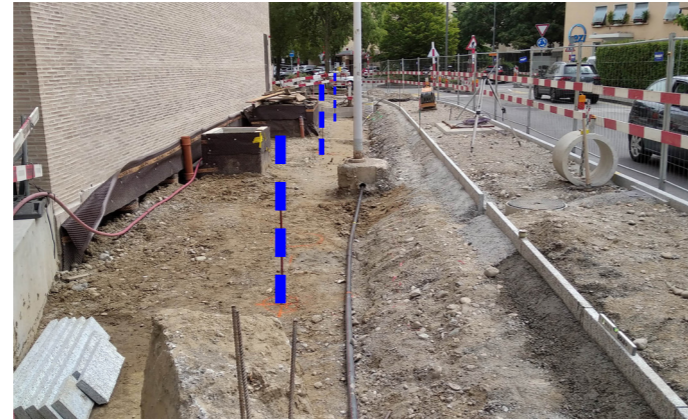
Suite au comparatif des différents produits, le choix s'est porté sur une pierre calcaire criblée 80-150 disponible à la carrière du Salève. La proximité du produit a été déterminant pour ce choix.

Enfin un compost d'écorce de la marque Ricoter a été choisi. Ce produit garanti un compost stable et sec à la livraison (contrairement à un compost type Châtillon communément utilisé pour les plantations sur le canton). Ce type de produit a donc été privilégié afin d'éviter la création d'un milieu anaérobie (qui peut être péjorable pour les arbres).





1. Sac gouflre déporté + encassement du trottoir



2. Libération du fond de fosse + réalisation réseau de fibre optique. Les traits bleus indiquent la position des futurs arbres.



3. Au fond, le mur en parpaing protégeant les réseaux électriques. Au centre, le piquet marquant l'emplacement du futur arbre. À droite, le regard de diffusion (N°2). Le trait bleu indique la position du futur arbre.



4. A droite, le sac gouflre récupérant les eaux de la chaussée. A gauche, le regard de diffusion (N°1) dans la fosse.



5. Composition du sac gouflre décalé



6. Composition du regard de diffusion

Étapes de réalisation

Les travaux se sont d'abord concentrés sur les éléments routiers (îlot central, bordure de trottoir, encaissements, enrobé) avant de mettre en place les éléments constitutifs de la fosse de plantation.

Trottoir et réseaux

La suppression de la fosse initialement prévue sous le trottoir, au stade de l'avant-projet, a permis, en terme de phasage de travaux, de réaliser l'ensemble du trottoir, créant ainsi le «cadre» de la fosse. Si nous avons pu le faire, rappelons que c'est dû au volume largement suffisant de cette fosse. Cette situation très favorable est particulière à ce projet.

Malheureusement, cette adaptation n'a pas permis d'étudier le comportement de la couche de base (pierre / compost / biochar) comme couche de portance de revêtements imperméables. Dans le projet, aucun essai de plaque ME n'a été effectué car aucune portance particulière n'était nécessaire.

Les sacs gouflres déportés (1) ont été réalisés lors de la mise en place des encaissements du trottoir.

Un réseau de fibre optique a également été mis en place en fond de fosse, le long du trottoir et enrobé de béton (2). Il a aussi été demandé par les SIG de protéger les introductions électriques du bâtiment par un mur en parpaings sur la hauteur de la fosse (3). Ce mur limite la fosse sur la partie Est. Le dernier arbre se retrouvera quelque peu «coincé» contre ce mur. Néanmoins il profitera d'une alimentation directe en eau par le sac diffuseur se trouvant à proximité et du volume de fosse accessible à l'arbre.

Suite au marquage des emplacements des arbres projetés, les regards de diffusion ont été placés dans la fosse. Après contrôle des niveaux d'entrée d'eau depuis la route, les canalisations d'alimentation du sac diffuseur ont été réalisées après quelques adaptations (4).

Des ajustements des niveaux des départs et arrivées des canalisations ont été faites en raison des niveaux finaux des bordures gouflres de la route et de leurs canalisations de raccord.

Ces adaptations en cours de chantier sont dûes au manque de données concernant les niveaux et la configuration des réseaux existants.

La principale conséquence a été une arrivée plus basse que prévue de l'alimentation en eau dans le regard de diffusion ne permettant sa mise en charge que sur 1/3 de sa hauteur. Cette contrainte a nécessité l'adaptation du principe de diffusion des regards au risque de diffuser que très peu dans la fosse voire d'entraîner le rejet trop rapide de l'eau vers le trop-plein. Cette adaptation est décrite dans la partie «Adaptation des sacs et niveaux du drain» qui suit.

De nouveau, ces adaptations ont pu être facilement réalisées en raison de la faible contrainte hydraulique du projet. Dans un projet où le rapport entre volume disponible pour la gestion des eaux et apport en eau serait plus étroit, le développement des détails avec l'aide d'un expert en hydraulique aurait été nécessaire afin d'éviter ce genre d'adaptation de dernière minute.



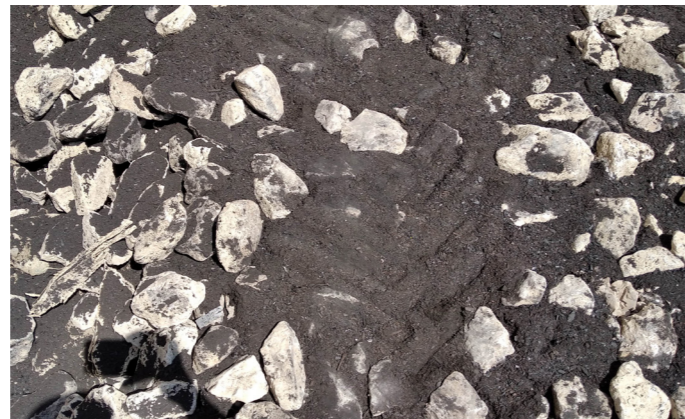
7. Brassage du fond de forme



8. Mise en place de la première couche de cailloux et passage du pied de mouton



9. Aspect général de la fosse après réalisation de la première couche de base



10. Première couche de base : aspect une fois l'incorporation du mélange dans les pierres



11. Mise en place de la seconde couche de cailloux



12. Utilisation du souffleur pour incorporer le mélange compost / biochar

Fond de fosse et première couche de base

Le premier travail a été de brasser le fond de la fosse sur une vingtaine de centimètres (7) afin de décompacter le sol tassé par le passage de la pelle mécanique lors des terrassements. Une pente du fond de forme en toit inversé a été profilée.

Au vue des faibles contraintes hydraulique et en accord avec l'OCEAU, aucun test d'infiltration n'a été réalisé. Si une conception plus fine avait été nécessaire, un test aurait dû être effectué.

La première couche de pierre calcaire criblée (80/150) a été mise en place sur 20 cm d'épaisseur (8). La difficulté d'accès a demandé à l'entreprise de travailler directement dans la fosse. Un travail depuis le trottoir aurait été idéal mais les contraintes de circulation et la réalisation des travaux de génie civil en parallèle, ont rendu cet accès impraticable pour le paysagiste.

Un essai de mise en place du mélange biochar/compost (matériaux secs) dans la couche, avant compactage, a été réalisé. Il n'a pas été concluant car le compactage a provoqué une migration trop importante du biochar dans la couche de pierres. Le biochar et le compost se retrouvent uniquement sur la partie basse de la couche alors qu'il est nécessaire de répartir le mélange dans l'ensemble de celle-ci. Il a donc été admis de compacter la couche de cailloux avant la mise en place du mélange.

Un compactage non vibré au pied de mouton a été réalisé sur l'ensemble de la couche de cailloux (11).

Adaptation des sacs et niveaux du drain

Lors du rendez-vous sur place du 15 juillet 2021, un test de mise en eau d'un regard de diffusion a été opéré. Il en résulte que les ouvertures du modèle préfabriqué étaient trop importantes pour permettre sa mise en charge (et donc de répartir l'eau via le drain). L'eau n'était présente qu'au pied du regard. Afin d'éviter tout risque de flaque à cet endroit et pour favoriser la diffusion dans l'ensemble de la fosse, nous avons privilégié la répartition de l'eau via le drain.

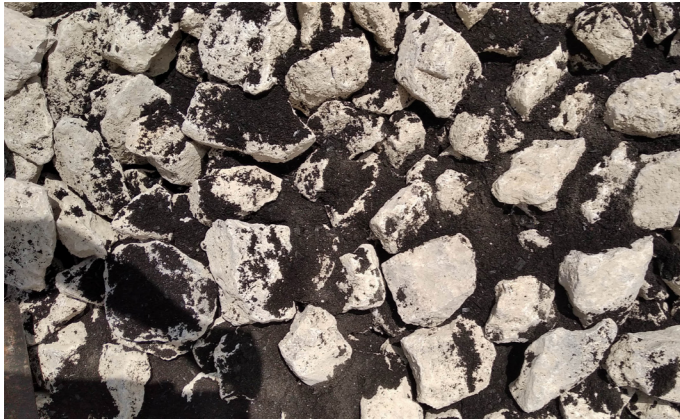
Pour que cela soit possible, les premières lignes d'ouverture des regards, les plus basses, ont été maçonnées. Le drain a été relevé au maximum (le niveau est néanmoins limité par les niveaux des canalisations d'alimentation venant du sac gouffre). De nouvelles perforations plus petites (diamètre d'environ 3cm) ont été réalisées en direction des arbres situés à proximité.

Mise en place du mélange (1ère couche)

Le mélange 2/3 compost et 1/3 biochar a été réalisé en dehors de la zone de chantier afin de faciliter sa préparation. Il a ensuite été transporté jusqu'à la fosse pour sa mise en place. Le mélange biochar/compost a été incorporé au pierres par temps sec (9). Les cailloux étaient également secs lors de cette mise en œuvre.

Dans cette première couche, 5 m³ de mélange a été mis en place. Réparti grossièrement sur la couche de cailloux, ce mélange a été soufflé afin de l'introduire dans les interstices des pierres.

L'utilisation d'une souffleuse a été concluante, sans trop de projections. En effet elle permet facilement d'insister ou non sur certaines zones en fonction de la pénétration du mélange (12). Il est à noter que le mélange biochar/compost utilisé était complètement sec et suffisamment fin pour faciliter cette opération.



13. Détail de l'aspect de la seconde couche selon le protocole de mise en œuvre validé



14. Le mélange n'a pas été mis en place au pied de façade pour ne pas encourager le développement des racines vers le bâtiment



15. La fosse avant la dernière incorporation de Biochar et compost.



16. Regard de diffusion. La différence de hauteur entre les pierres et le couvercle du regard correspond à l'épaisseur de terre végétale à venir



17. La fosse suite à la mise en place générale de la terre végétale



18 Pipes de rinçage des drains en surface

La réalisation de cette première étape montre, un sol saturé en mélange biochar/compost (10). Il est toutefois à noter que le substrat est léger et ne s'agglomère pas. Pour les deux couches suivantes, il a été décidé de ne mettre en place que 3 m³ de mélange biochar/compost par couche contre initialement 5 m³ afin de favoriser l'aération entre les pierres (13).

Protocole validé

Le protocole suivant a alors été établi pour la mise en place de la deuxième et troisième couche:

- Mise en place de 20 cm de pierres calcaires criblées 80/150
- Compactage non vibré au pied de mouton (sans insister)
- Répartition de 3 m³ de mélange 1/3 biochar et 2/3 compost (préalablement mélangés)
- Incorporation à la souffleuse du mélange dans la couche de pierres
- Surfaçage du mélange biochar/compost afin de l'apporter à la partie supérieure de la couche de cailloux
- Protection par un géotextile temporaire en cas d'intempéries ou de report de la date de mise en œuvre pour éviter le lessivage par la pluie ou le déplacement du mélange par le vent. Le géotextile est retiré à la mise en place de la terre végétale.

L'ensemble de ces étapes sont à réaliser par temps sec afin de faciliter la mise en place des matériaux. Un mélange biochar/compost mouillé ou humide aura des difficultés à s'incorporer entre les pierres.

Les deuxième et troisième couches de cailloux ont été mises en œuvre selon ce protocole. Le niveau final de la dernière couche de base est à -20 cm du niveau fini (16) pour permettre la mise en place de la terre végétale.

Pose du drain

Le drain reliant les deux regards de diffusion a été mis en place après la couche de pierres. Il aurait été idéal de mettre en place le drain directement lors de la mise en place des couches de cailloux. Malheureusement, en raison des difficultés d'accès et d'acheminement des matériaux (comme citées précédemment), le drain a dû être mis en place après afin de s'assurer qu'il ne soit pas détérioré par le passage de la mini-pelle et du pied de mouton.

Le drain a été positionné côté perforé vers le bas afin de diffuser l'eau dès la sortie des sacs de diffusion.

Contraint par un réseau existant et son enrobage en béton, le drain a été divisé en deux parties afin d'assurer la pente de 1% minimum depuis les regards de diffusion vers le centre de la fosse. Les pipes de rinçage terminant ces drains ont été fermées par une grille perforée afin de favoriser l'aération de la fosse (18). Outre l'aération qu'elles favorisent, ces pipes permettent le nettoyage du drain dans le cas où il y aurait un encrassement de celui-ci par des matières terreuses.



19. Photo de pépinière des Celtis australis prévus à la plantation

20. Système ancrage de motte prévu pour le tuteurage.
Source : hortima.ch

21. Fosse en attente de la plantation des arbres OH miniflora

Mise en place de la terre végétale

La terre végétale a ensuite été mise en place (17). Aucune séparation n'a été faite entre la couche de pierres et la terre. Un volume supérieur de terre a été calculé et mis en place, afin de prévoir le tassement de la terre qui risque de migrer dans les premiers centimètres de la couche de pierres.

Sa mise en place a été réalisée à l'avancement afin d'en éviter le tassement par les machines car l'accès depuis le trottoir n'était toujours pas possible.

La terre végétale a ensuite étéensemencée avec un mélange type OH miniflora (21).

Plantation des arbres

Les arbres sont mis en place sur la couche de base après la creuse d'une fosse de 120 x 120 x 30 cm d'épaisseur. Une ondulation de la terre végétale a été réalisée afin de recouvrir la motte et de créer une cuvette d'arrosage. Le collet est surélevé par rapport au niveau général du sol. C'est une position particulièrement adaptée aux Celtis (19), surtout dans une fosse à vocation d'infiltration (les Celtis supportent mal les situations d'asphyxie).

Un tuteurage classique en piquet bois, compliqué à mettre en place dans la couche de cailloux, est abandonné au profit d'un ancrage de motte (20).

Un arrosage manuel est prévu lors de périodes de sécheresse (des sondes tensiométriques sont installées pour contrôle).

Schéma de l'eau - alimentation des eaux de pluie vers la fosse lors de précipitations

Le fonctionnement de la fosse lors d'une précipitation est illustré ci-après.

Les eaux météoriques tombant sur la surface enherbée (A) et le trottoir (B) sont directement infiltrées dans le sol via la terre végétale. Les eaux de la chaussée (C) sont collectées dans le sac gouffre déporté (D) et par système de vase communicant, sont acheminées vers le regard de diffusion (E). Le drain (F) et les perforations du sac (G) diffusent l'eau dans la fosse.

Le sol est apte à stocker une grande quantité d'eau notamment dans les interstices laissés entre les pierres de la couche de base (H). Le sous-sol laisse l'eau s'infiltrer en fonction de sa capacité d'infiltration (I).

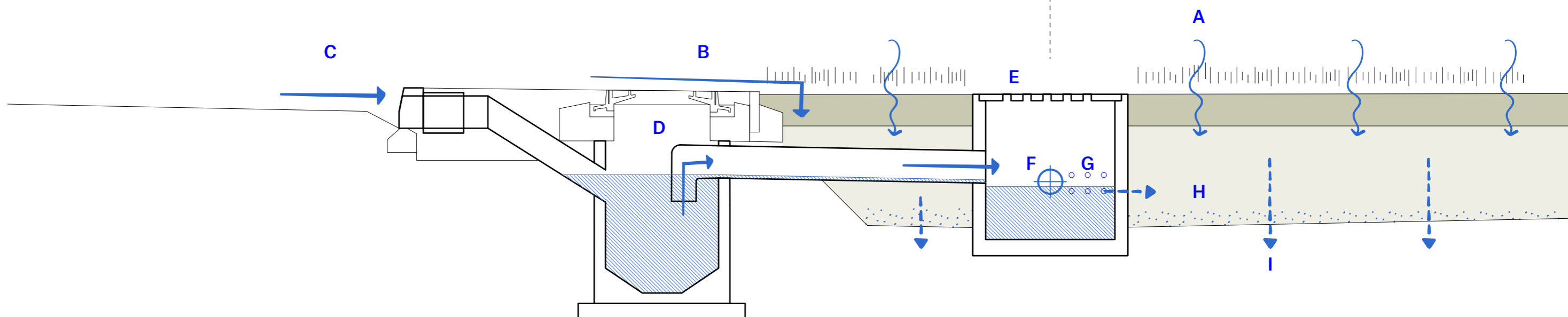
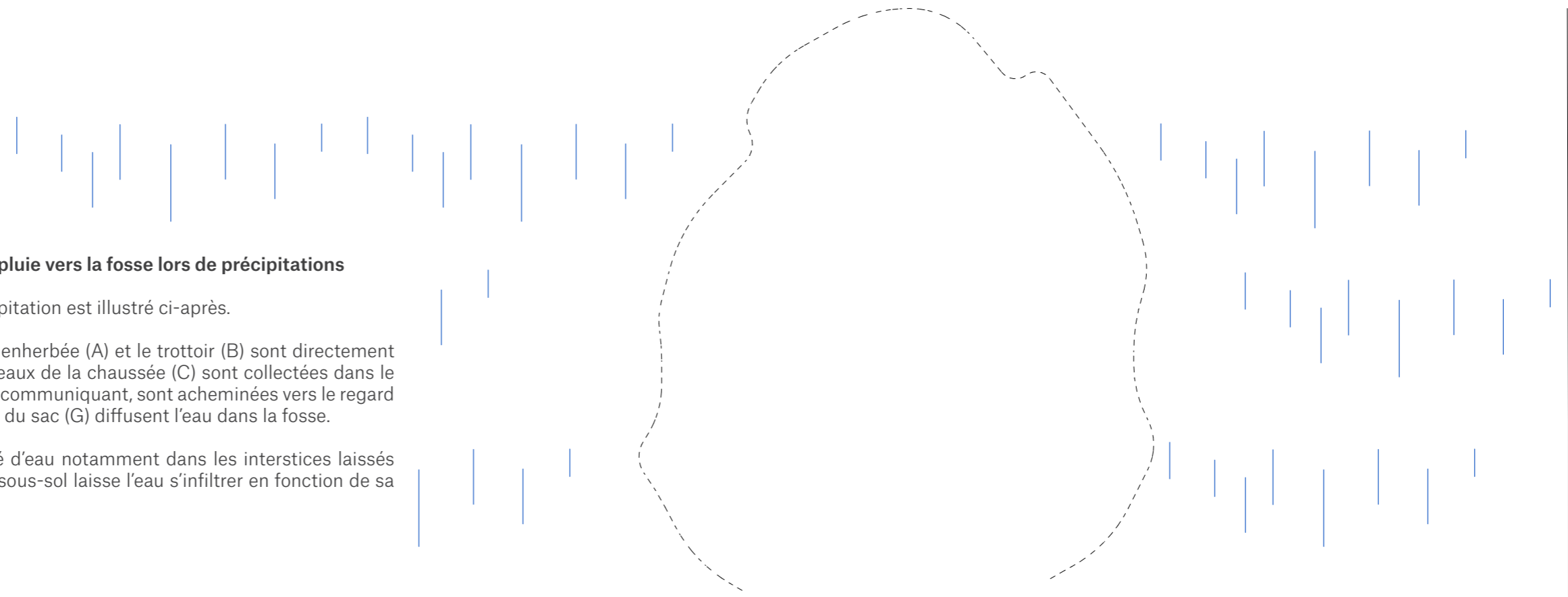


Schéma de l'eau - situation de la fosse à saturation en eau

Le fonctionnement du système lorsque la fosse arrive à sa capacité maximale de rétention / infiltration est illustré ci-après.

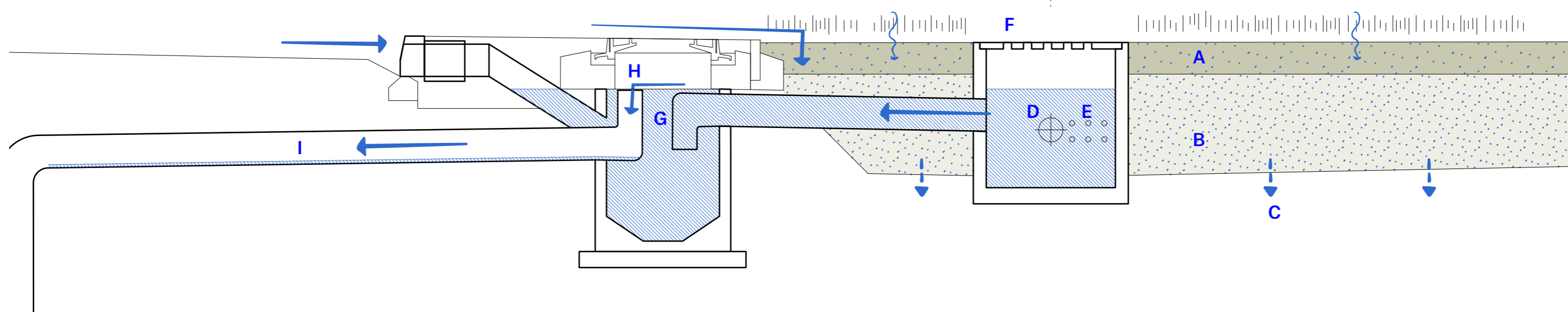
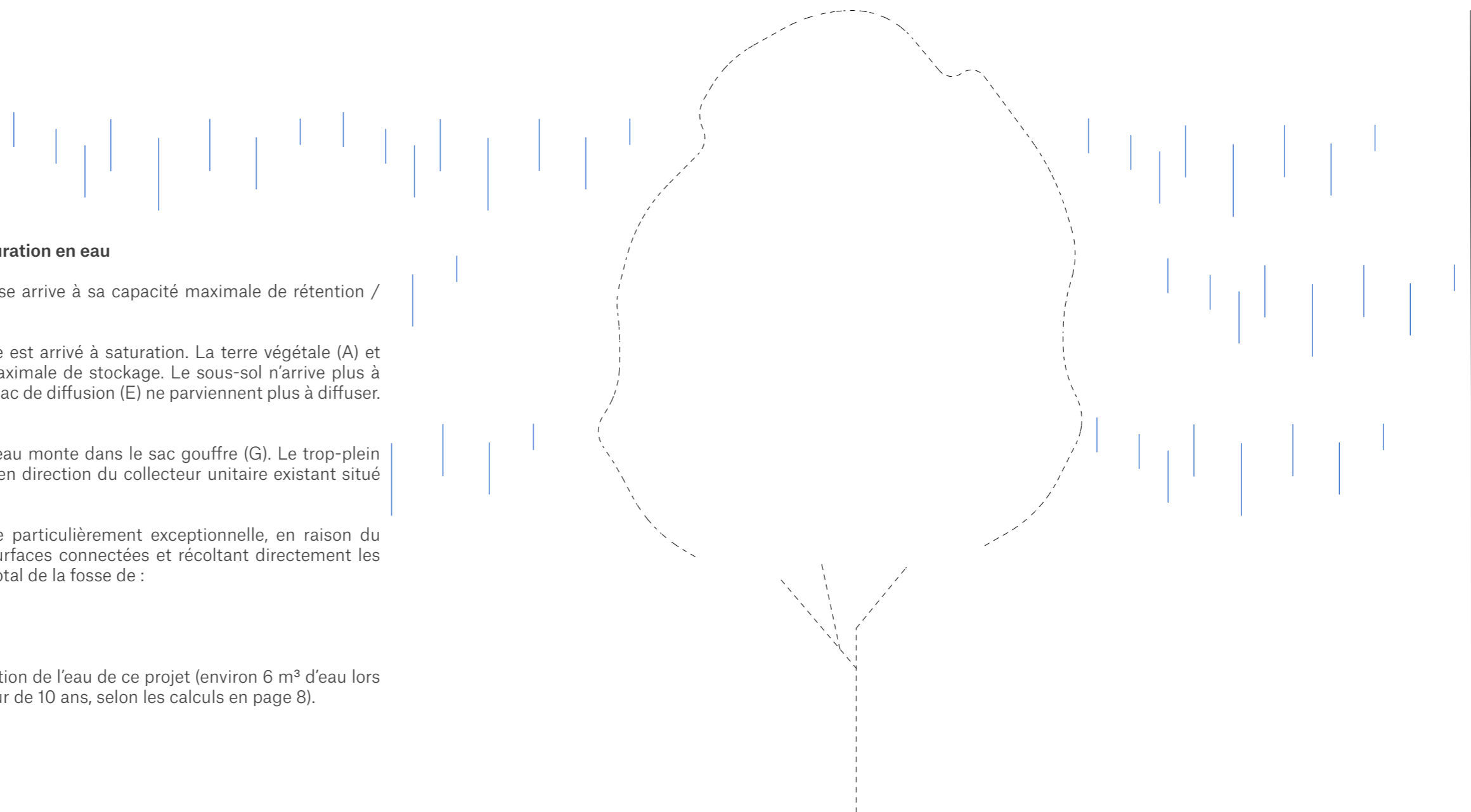
Les précipitations continuent mais le système est arrivé à saturation. La terre végétale (A) et la couche de base (B) sont à leur capacité maximale de stockage. Le sous-sol n'arrive plus à infiltrer (C). Le drain (D) et les perforations du sac de diffusion (E) ne parviennent plus à diffuser. Le regard de diffusion (F) monte en charge.

Par effet de vase communicant, le niveau d'eau monte dans le sac gouffre (G). Le trop-plein assure l'évacuation de l'eau excédentaire (H), en direction du collecteur unitaire existant situé sous la route (I).

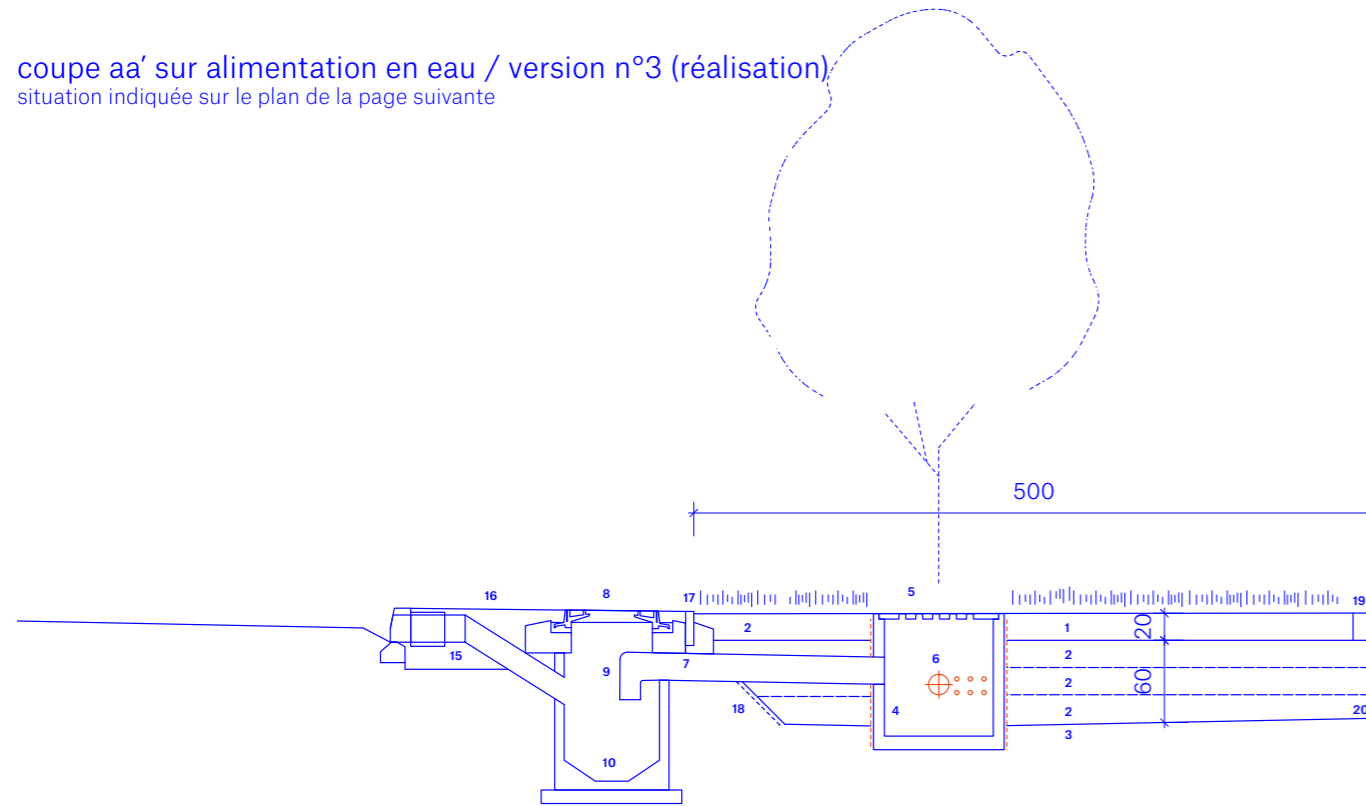
Il faut noter que cette situation risque d'être particulièrement exceptionnelle, en raison du dimensionnement de la fosse. En effet, les surfaces connectées et récoltant directement les pluies avoisinent les 400 m² pour un volume total de la fosse de :

- environ 80 m³ de couche de base
- environ 30 m³ de terre végétale

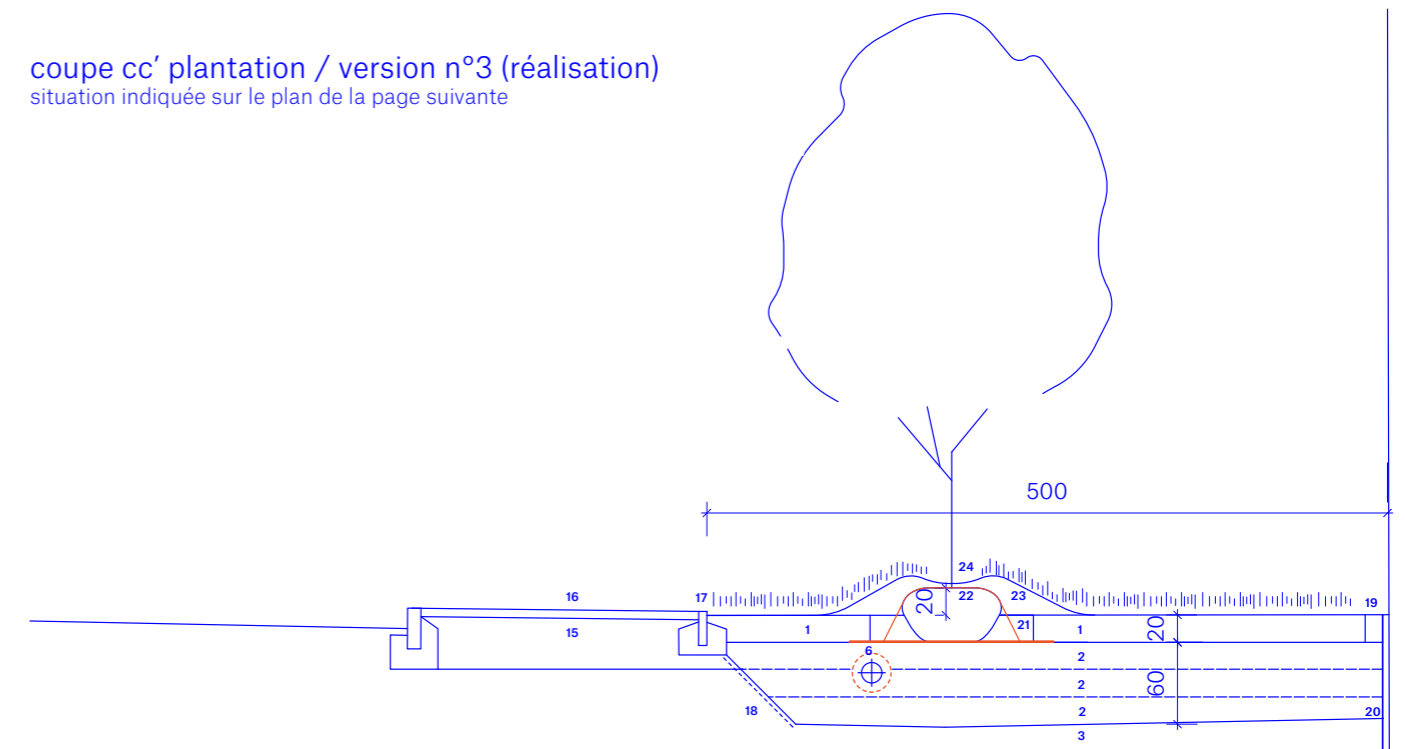
Ce volume est largement suffisant pour la gestion de l'eau de ce projet (environ 6 m³ d'eau lors d'un orage de 30 minutes et de temps de retour de 10 ans, selon les calculs en page 8).



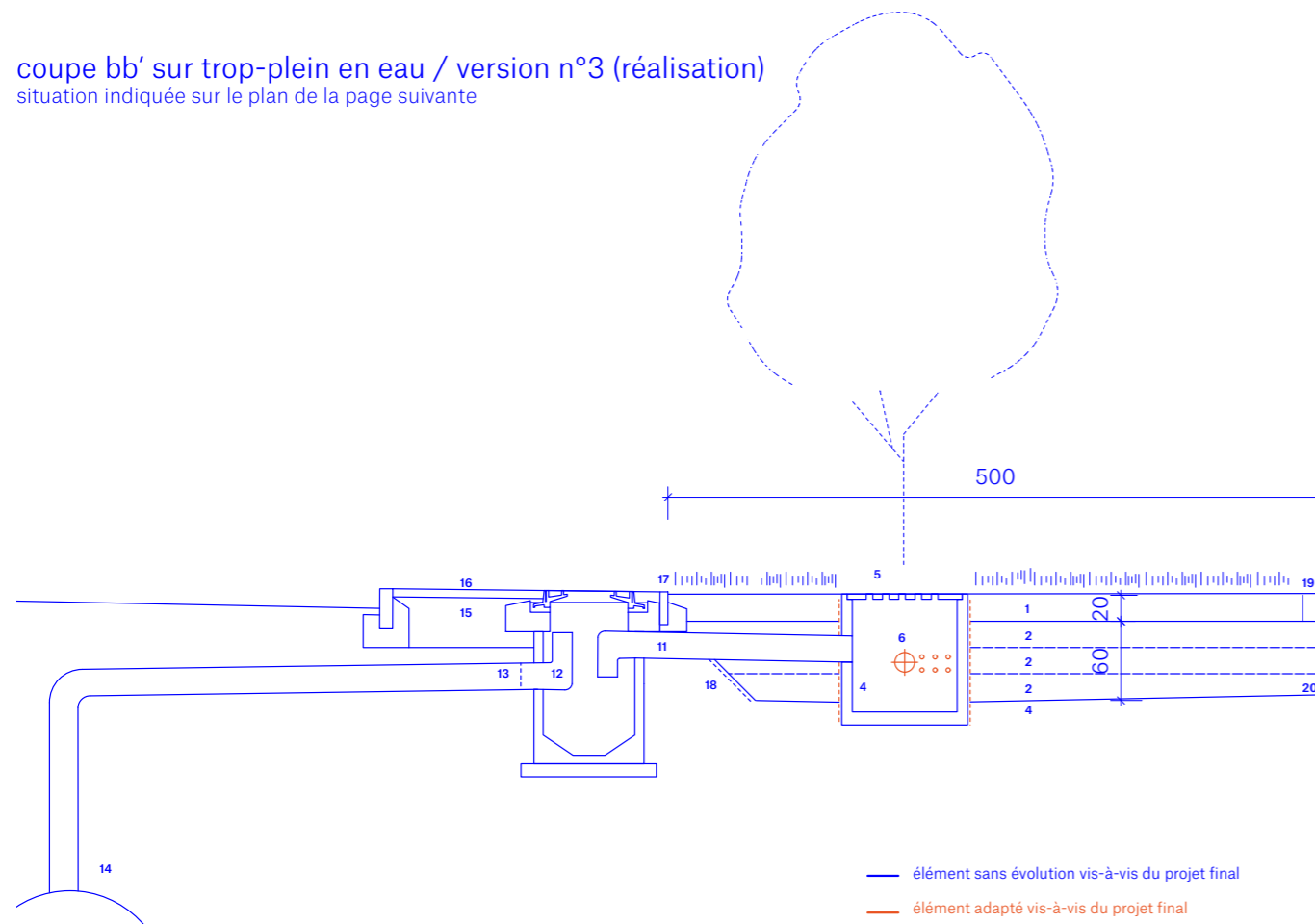
coupe aa' sur alimentation en eau / version n°3 (réalisation)
situation indiquée sur le plan de la page suivante



coupe cc' plantation / version n°3 (réalisation)
situation indiquée sur le plan de la page suivante



coupe bb' sur trop-plein en eau / version n°3 (réalisation)
situation indiquée sur le plan de la page suivante

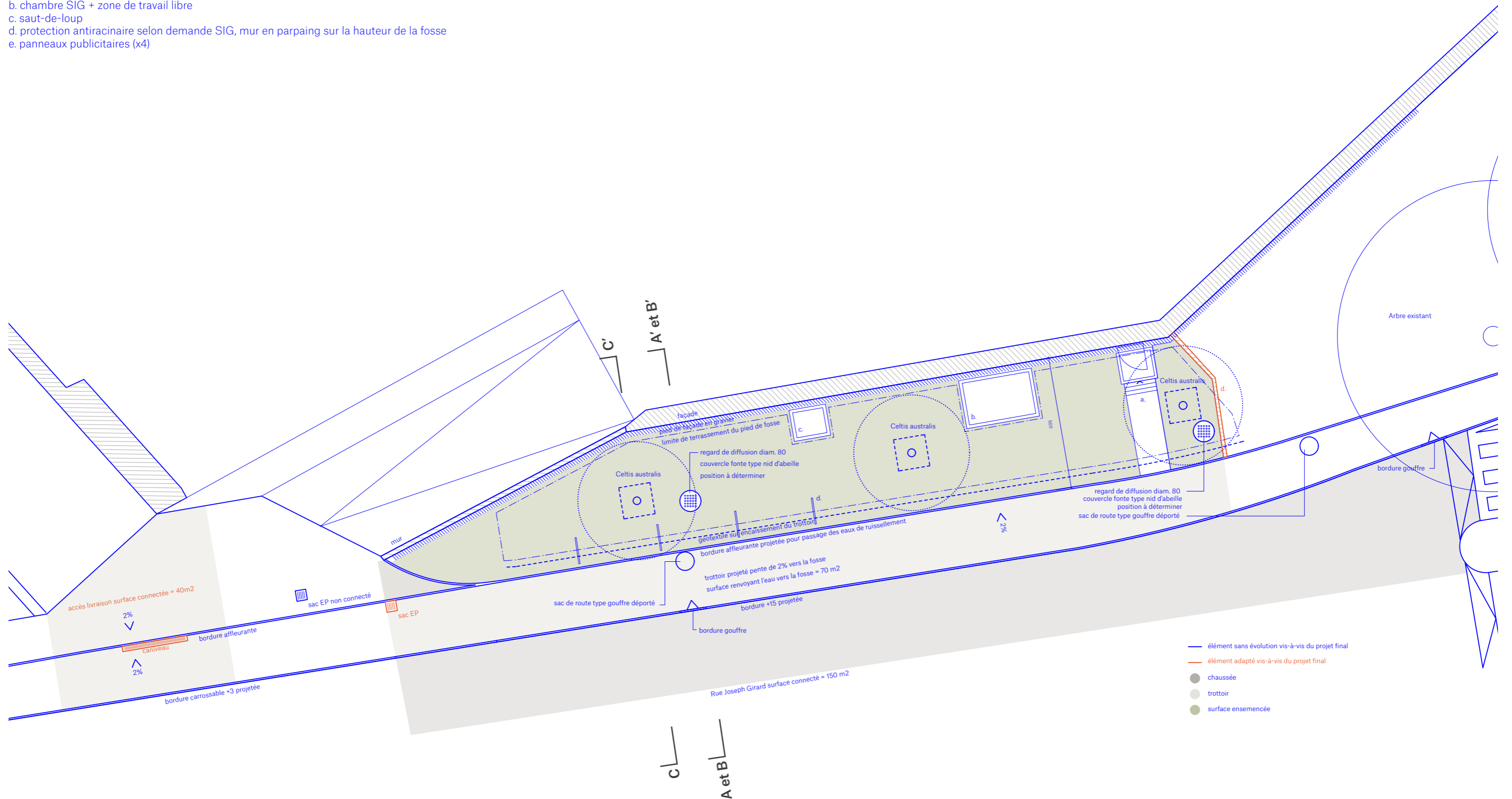


- 1 terre végétale ep. 20 cm pour semis type Miniflora
- 2 couche de base composée de : 70% pierres calcaires criblées 80-150 mm (environ 600 L/m³) et d'un mélange de compost et de biochar (environ 250 L/m³)
biochar 1-30 mm certifié EBC Agrobio de chez Swiss Biochar ou équivalent
compost d'écorce ref. 301 de chez Ricoter ou équivalent
mise en œuvre de couches de 20 cm avec compactage des pierres calcaires criblées puis injection du substrat sec au souffleur
3 opérations au total sont nécessaires pour constituer la couche de 60 cm
- 3 fond de forme décompacté pour favoriser l'infiltration dans le sous-sol, pente vers le centre de la fosse regard de diffusion diam. 80 cm, type puis perdu en béton de chez Creabéton ou équivalent avec fond géotextile tissé sur le pourtour du sac
- 4 couvercle fonte en nid d'abeille type VonRoll 2815 ou équivalent
- 5 drain diam 150 mm pour diffusion de l'eau sur la longueur de la fosse, côté perforé vers le bas mis en place dans une chemise drainante en gravier roulé 16-32 mm et géotextile tissé 200 gr/m²
- 6 arrivée des eaux de la route via canalisation PVC diam. 200 mm à positionner le plus haut possible
- 7 sac-gouffre déporté selon modèle 5.11 OCGC. Position sur emplacement de sacs existants
- 8 coude plongeur
- 9 fond dépotoir
- 10 trop plein entre regard de diffusion et sac de route lorsque la diffusion n'est plus possible
- 11 trop plein réalisé avec canalisation PVC diam. 200 mm avec coupe vent. Prévoir l'adaptation possible de la hauteur du coude
- 12 raccordement sur canalisation existante
- 13 collecteur existant diam. 1500 mm
- 14 fondations du trottoir
- 15 couches de finition des enrobés
- 16 bordure affleurante permettant le passage des eaux du trottoir directement dans la fosse, terre mise à -3 cm de la bordure
- 17 géotextile non tissé 200 gr/m²
- 18 pied de façade en gravier
- 19 Delta MS pour protection du pied de façade
- 20 fosse pour plantation de l'arbre en terre végétale amendée de 20% de compost dim. 120x120 cm prof. 20 cm à 30 cm
- 21 motte de l'arbre posée sur la couche de base, la motte est légèrement surélevée par rapport au sol afin d'assurer les conditions racinaires adaptées au Celtis australis (qui n'aime pas avoir les pieds dans l'eau)
- 22 butte en terre végétale amendée de 20% de compost pour couvrir la motte
- 23 tuteurage par ancrage de motte type GEFA treelock ou équivalent
- 24 cuvette d'arrosage : prévoir un arrosage manuel lors des périodes sèches des 3 premières années si nécessaire

— élément sans évolution vis-à-vis du projet final
— élément adapté vis-à-vis du projet final

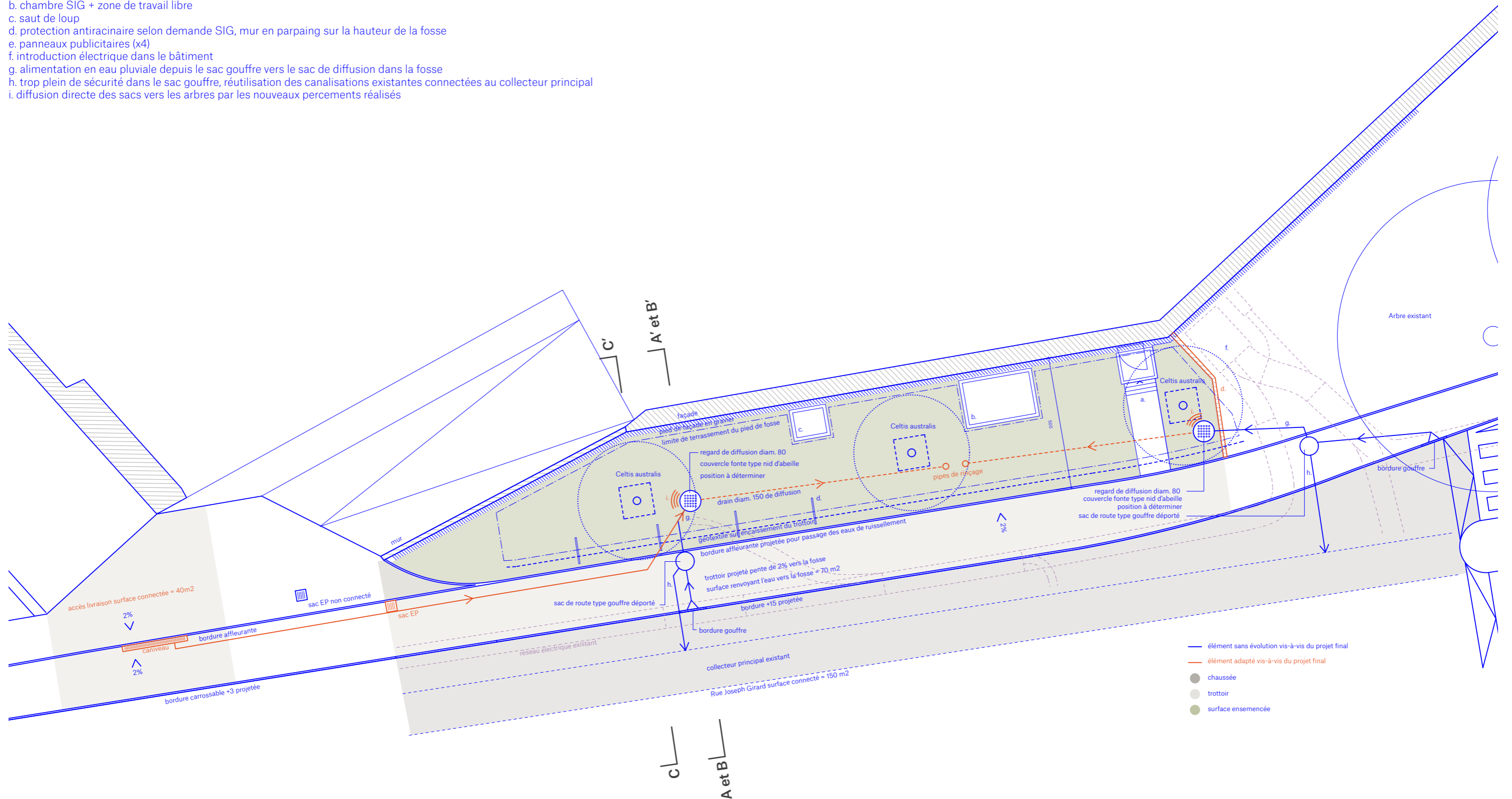
plan de sol de la fosse de plantation / version n°3 (réalisation)

- a. escalier en béton, saut-de-loup et accès au bâtiment à +45 cm du sol
- b. chambre SIG + zone de travail libre
- c. saut-de-loup
- d. protection antiracinaire selon demande SIG, mur en parpaing sur la hauteur de la fosse
- e. panneaux publicitaires (x4)



plan des réseaux de la fosse de plantation / version n°3 (réalisation)

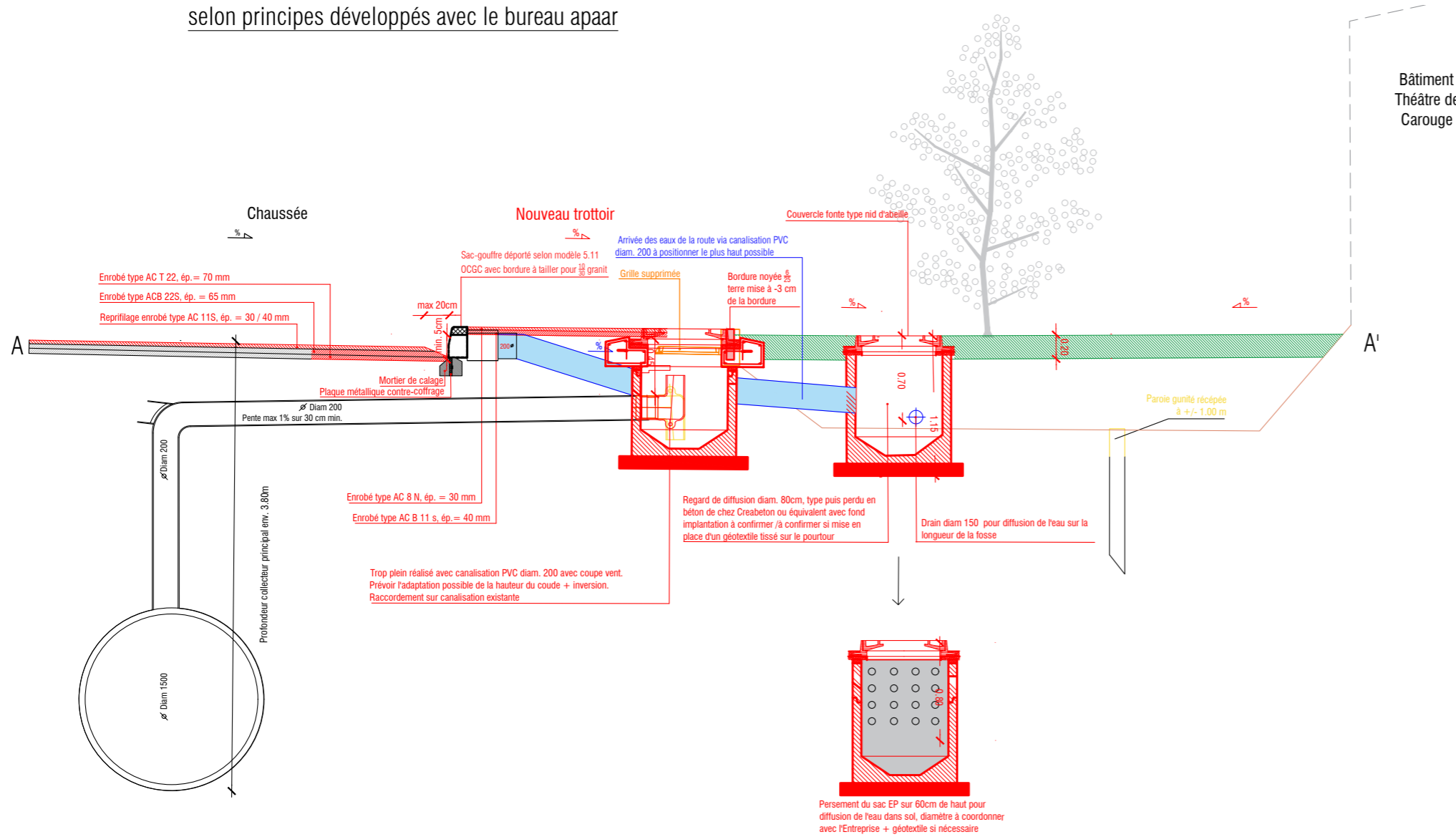
- a. escalier en béton, saut de loup et accès au bâtiment à +45 cm du sol selon plan de Pont12 architectes
- b. chambre SIG + zone de travail libre
- c. saut de loup
- d. protection antiracinaire selon demande SIG, mur en parpaing sur la hauteur de la fosse
- e. panneaux publicitaires (x4)
- f. introduction électrique dans le bâtiment
- g. alimentation en eau pluviale depuis le sac gouffre vers le sac de diffusion dans la fosse
- h. trop plein de sécurité dans le sac gouffre, réutilisation des canalisations existantes connectées au collecteur principal
- i. diffusion directe des sacs vers les arbres par les nouveaux percements réalisés



selon principes développés avec le bureau apaar

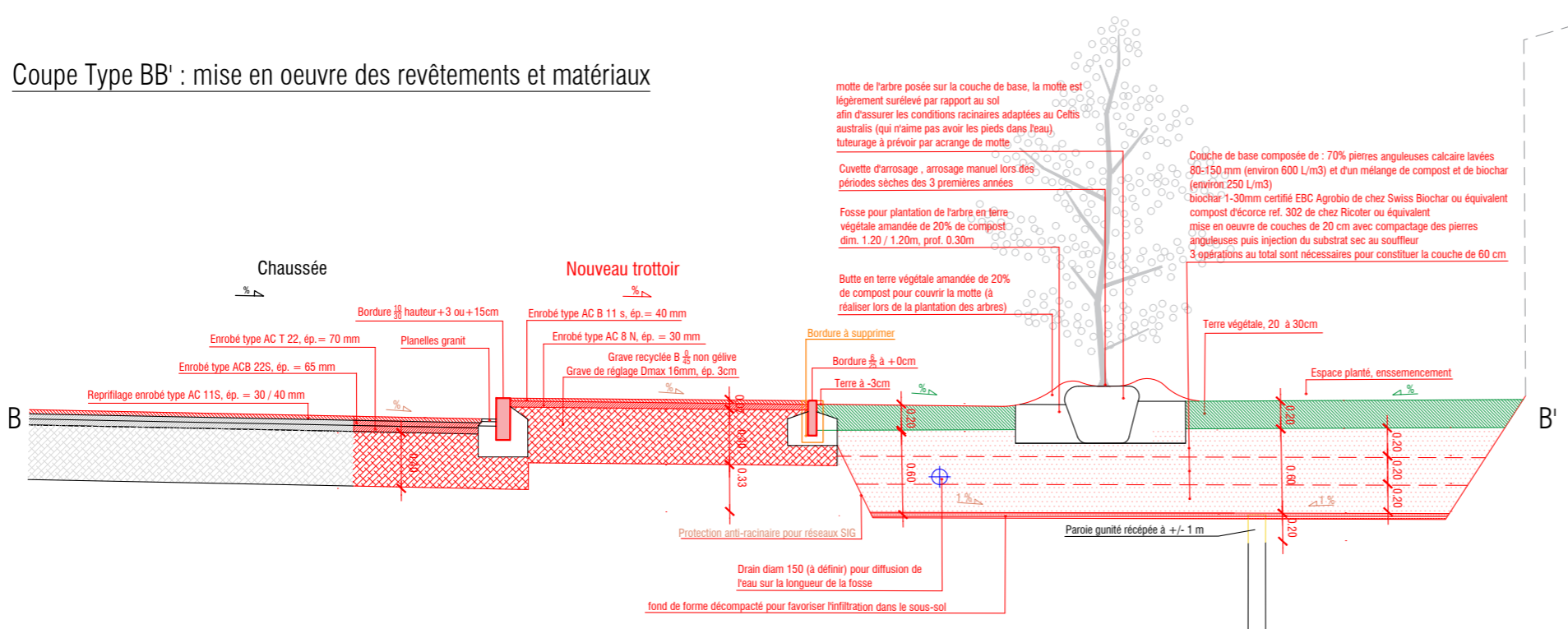
VERSION RÉALISÉE

Coupes du bureau BCPH ingénierie version août 2021.




Bâtiment Théâtre de Carouge

Coupe Type BB' : mise en oeuvre des revêtements et matériaux




Bâtiment Théâtre de Carouge



VILLE DE CAROUGE

Théâtre de Carouge
Rue Joseph-Girard

Plan d'exécution
Coupes types

Raison sociale : bcpH ingénierie Ingénieur mandataire : Philippe Burri T 022 700 44 36		 Ingénierie																
ECHELLE (S)	1/100 et 1/25	PLAN NO. 2015-15-002																
DATE	JANV 2021	Quemener, T																
INDICE	A																	
<p>Modification (s)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>-</td> <td>12.01.2021</td> <td>Etablissement du plan</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>04.06.2021</td> <td>Adaptation écoulement</td> </tr> </table>			-	12.01.2021	Etablissement du plan	A	04.06.2021	Adaptation écoulement										
-	12.01.2021	Etablissement du plan																
A	04.06.2021	Adaptation écoulement																
<p>Légende</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Bordure</td> <td>—</td> <td>Supplée</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>Vannes et regards (diam. sup. etc.)</td> <td>—</td> <td>Supplée</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>Sac grille</td> <td>—</td> <td>Supplée</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>Sac coupe vent à accrotte sur sac grille</td> <td>—</td> <td>Supplée</td> <td>—</td> </tr> </table>			Bordure	—	Supplée	—	Vannes et regards (diam. sup. etc.)	—	Supplée	—	Sac grille	—	Supplée	—	Sac coupe vent à accrotte sur sac grille	—	Supplée	—
Bordure	—	Supplée	—															
Vannes et regards (diam. sup. etc.)	—	Supplée	—															
Sac grille	—	Supplée	—															
Sac coupe vent à accrotte sur sac grille	—	Supplée	—															

ASPECT FINANCIER

A Travaux de terrassement :

Terrassement en pleine masse et évacuation

sous-total A : CHF 9'600

B Travaux de réseaux :

Fourniture et pose chemise drainante avec drain diam. 150 mm et gravier 16-32
Raccordement des drains au sac grille, y.c percements et rhabillage
Fourniture, pose et raccordement de pipe de rinçage pour drain
Fourniture et pose de deux regards de diffusion y.c grille abeille
Fourniture et pose de deux sacs gouffres déportés y.c creuse, raccords et remblayage

sous-total B : CHF 9'300

C Mise en place des sols :

Décompactage du fond de forme
Fourniture et mise en place de pierres anguleuses 80-150
Fourniture et mise en place de biochar et compost,
Plus-value pour mise en place de compost Ricotter
Fourniture et mise en place de terre végétal
Réglage et ensemencement
Plantation des arbres

sous-total C : CHF 15'000

D Plantation des arbres :

Creuse de trois fosses de plantation 2x2.5x0.60
Tuteurage par système d'ancrage de motte
Fourniture de 3 Celtis australis 25-30
Plantation des arbres
Paillage des pieds d'arbres

sous-total D : CHF 10'900

total de mise en œuvre de la fosse (A+B+C+D) : CHF HT 44'800

Retour sur les coûts de réalisation

Suite aux travaux, un retour sur les coûts de réalisation a permis d'établir un premier ratio pour ce genre de fosse de plantation. Il faut préciser que pour chaque projet, il faut faire sa propre estimation des coûts. En effet, les principes constructifs et choix de matériaux peuvent varier grandement d'un ouvrage à l'autre et ainsi en modifier les prix.

Ci-dessous la liste des principaux matériaux fournis et mise en place, ainsi que leur prix unitaire, utilisés dans le cadre du projet :

- Fourniture et mise en place de pierres calcaires criblées 80-150 mm = CHF 115 /m³
- Fourniture et mise en place de compost (référence en annexe 1) = CHF 215 /m³
- Fourniture et mise en place de biochar = CHF 350 /m³
- Fourniture et mise en place de terre végétale = CHF 60 /m³

Ci-contre, sont décrits les principaux postes de la réalisation de l'ouvrage et leur coût. Il serait inintéressant de mettre en perspective le coût de cette fosse avec les services et les bienfaits qu'elle augure pour la rue. Comme par exemple :

- La gestion des eaux à proximité du lieu des précipitations
- Réduction des rejets d'eau au réseau
- Rendre le sol plus humide pour en activer la vie microbienne
- Alimenter naturellement l'arbre en eau
- Favoriser des sols aérés, autre levier pour une bonne vie du sol et exploration racinaire
- Des arbres dans de bonnes conditions qui remplissent mieux leurs services écosystémiques
- L'économie dans les coûts d'entretien sur le long terme (arbres dans de bonnes conditions)
- Etc...

CONCLUSION



Ce projet pilote fut l'occasion de mettre en œuvre le système dit de Stockholm dans un contexte genevois et de le tester pour la première fois sur le territoire. Cette démarche de projets test doit être poursuivie afin d'en affiner la mise en œuvre.

Dans le cas présent, si le projet pilote n'avait pas été élaboré, une fosse de pleine terre aurait largement été suffisante pour la croissance des arbres. Elle n'aurait en revanche pas répondu aux besoins de gestion des eaux de la route et du trottoir adjacents, ni à l'alimentation en eau des arbres. A noter tout de même que le sol minéral mis en place est davantage similaire aux sols du milieu d'origine des *Celtis australis* (drainant, contenant peu d'argile). L'équipe de projet suggère un suivi de la croissance des arbres pour les prochaines années.

Nous proposons ci-dessous quelques recommandations et suggestions pour les prochaines mises en œuvre :

Principes généraux :

- la fosse de Stockholm permet de gérer et de stocker les eaux pluviales issues des surfaces imperméables (routes, trottoirs,...). Elles peuvent soulager, voire remplacer, les systèmes traditionnels d'évacuation des eaux.
- la fosse permet à une partie de l'eau de pluie de s'infiltrer dans le terrain sous-jacent. La mise à disposition de l'eau est bénéfique pour les arbres. L'eau est infiltrée à proximité du lieu des précipitations.
- l'aération de la fosse permet d'éviter les situations d'engorgement. Le sol est structuré avantageusement pour les racines et leur exploration. Elle permet cette double fonction de stockage ponctuel de l'eau et d'aération du sol.
- la fosse offre autant de matière organique qu'un système de terre pierre classique à ceci prêt que le substrat est aéré et humidifié grâce à l'apport d'eau. La fosse crée un volume généreux pour ces arbres (environ 40 m³ par arbre dans notre cas).
- pour mettre en place de telles fosses, de grands volumes de sols sont nécessaires. L'excavation, l'évacuation et l'importation des matériaux est importante. Dans le cas de projets de plus grande envergure, une réflexion sur l'évacuation ou le recyclage des tout-venants est à prévoir.

Conception :

- la conception demande des connaissances particulières de ce genre de système, notamment du point de vue de l'hydraulique. Dans des cas plus complexes, il faudra être épaulé d'un ingénieur hydraulique.
- un mandat de suivi doit être établi dès la phase de conception. Il permettra de définir un mandataire responsable des tests d'infiltration et de la mise en place des appareils de mesure. Il planifiera et intégrera ses interventions dans le planning général de réalisation (tests d'infiltration, mise en place de sondes,...). Dans le cas présent, aucun test n'a été réalisé en amont de la réalisation, ce qui n'est pas idéal. De nouveau, le sur-dimensionnement de la fosse nous a permis cette liberté.

CONCLUSION

- la configuration du projet avec l'espace végétalisé prévu en surface, nous a écarté de l'utilisation d'une couche dite «d'aération» communément utilisée dans les fosses de Stockholm dont le sol en surface est composé d'un revêtement imperméable. La réalisation Rue Joseph-Girard nous ne nous a donc pas permis de tester l'ensemble du système.

- la suppression de la fosse prévue initialement sous le trottoir ne nous a pas permis d'étudier la portance du dit système pour des revêtements imperméables.

- trouver les bons matériaux peut demander du temps. Les choix doivent être établis en amont. Des échantillons doivent être demandés afin de s'assurer de la correspondance des matériaux imaginés et à référencer dans les appels d'offre. Dans le cas présent, un manque de précision initial sur le compost à mettre en place a entraîné une plus-value lors de la réalisation. Les matériaux doivent être secs sous peine d'être refusés à la livraison sur le chantier.

- privilégier des éléments standards (regards, sac...) peut être un atout tant en économie qu'en terme de délais (de conception comme de livraison). Malheureusement, ils ne sont pas toujours les plus adaptés. Nous avons par exemple choisi un modèle de regard perforé pour créer les sacs de diffusion. Après réalisation des réseaux et un test de mise en charge, ces perforations se sont avérées être trop importantes. Finalement nous les avons comblées afin de favoriser la diffusion dans le reste de la fosse via le drain. Autre exemple, le manque de place dans les sac-gouffres déportés nous a demandé de réaliser des pièces sur mesure pour les coudes plongeurs.

- afin de réaliser une conception fine des éléments hydrauliques, il est nécessaire d'obtenir en amont l'ensemble des informations concernant les réseaux existants (diamètre de canalisations, altitudes des différents éléments, etc...). Ces relevés sont en général réalisés que trop tard. Il faut les privilégier lors de la phase de conception du projet d'ouvrage afin de prévoir les éléments techniques adéquats dans les appels d'offres.

Mise en œuvre, suivi :

- la mise en œuvre demande un suivi assidu de la part des mandataires. Les différentes étapes ainsi que les protocoles de mise en œuvre doivent être validés avant l'exécution complète de chaque étape. Au plus fort de la réalisation, une moyenne de 4 passages de 1h30 sur place par semaine ont été nécessaires pour s'assurer de la bonne mise en œuvre.

- les entreprises doivent également être formées à la réalisation de ce genre de système ce qui va permettre de probablement diminuer les coûts de production.

- la réalisation de prototypes en bonne et due forme est importante. Il faut prévoir les moyens nécessaires à leur réalisation afin qu'ils puissent être concluants. A ce titre, ces tests doivent être prévus dans les appels d'offres. Dans le projet, l'entreprise ne s'est pas donné les moyens de réaliser des prototypes concluants (surfaces test trop petites, compost ne correspondant pas à la demande). Nous avons alors privilégié la mise en place du mélange compost / biochar directement sur la première couche de base pour en tirer les premières observations.

- lors de la conception, il est possible d'établir les volumes théoriques pour constituer les mélanges des matériaux. Dans notre cas, les volumes de mélange compost / biochar à mettre en place initialement indiqués ont été réduits. La première couche de pierre où 5 m³ de mélange compost / biochar a été incorporé paraissait saturée. Pour les deux couches de pierres suivantes, 3 m³ de mélange ont été injectés par couche de 20 cm. L'aspect aéré de la couche était alors satisfaisant.

Concernant la provenance des matériaux, des fournisseurs locaux ont été privilégiés. Le développement récent des filiales locales de Biochar permet de se fournir à proximité. Après comparaisons, les pierres calcaires du Salève se sont avérées être des produits adéquats pour réaliser la couche de base.

Désormais, il convient d'observer via des mandats de suivi l'évolution des arbres et des niveaux d'eau. Ce contrôle permettra d'établir des relations entre les événements pluvieux et les différents niveaux d'eau dans la fosse. Il conviendra aussi d'assurer un suivi et un retour d'expérience sur les questions d'entretien de l'ouvrage sur le moyen et long terme (état des sacs de diffusion, facilité de nettoyage du système, etc...). Ces contrôles post-réalisation permettront de tirer les premières conclusions sur ce genre de réalisation.

Les projets pilotes doivent se poursuivre afin de développer les connaissances tant des mandataires que des entreprises. Ils permettront d'optimiser et de simplifier la mise en œuvre, diminuant ainsi les coûts de réalisation.

A l'heure actuelle, ces fosses constituent une réponse très intéressante pour offrir à nos arbres des sols arrosés, aérés et de qualité.

Fiche produit du compost d'écorce

Certificat de qualité EBC du biochar utilisé dans la réalisation

Compost d'écorces





Composition

écorces de conifères

déchets de betteraves*

agents de compostage
*déchets végétaux de la sucrerie

Utilisation

- amélioration du sol, étendre une couche d'env. 0.5 cm d'épaisseur, mélanger en surface
- comme composant pour substrat de culture, mélanger jusqu'à 40 % de volume avec la terre végétale, succédané de tourbe ou du sable

Propriétés

- pH à l'eau env. 7.2
- conductivité (teneur en sel) env. 1.3 mS/cm
- poids volumique env. 525 g/l (CEN)
- rapport C:N 25-30:1

Unités de livraison

Code-EAN	N° d'article	Spécifications	Unités de livraison	Demi-palette	Palette EUR	Contenance
	301 744 11		51 sacs		X	40 l nouveau
	301 000 00	0-20 mm	vrac			
	301 900 34	0-20 mm	Big Bag			2.0 m ³



EBC certificat	
certificate id	
Class d'application certifiée	EBC-Fourrage
Période de production	02/2021-01/2022
biomasse utilisée pour la production de biochar	Holziges Grüngut aus kommunaler Sammlung und Landschaftspflege
additifs pour la pyrolyse	---
Teneur en carbone organique (C _{org})	84.2 %
H / C _{org} ratio	0.1
Azote total	0.8 g kg ⁻¹
Phosphore en P ₂ O ₅	0.18 g kg ⁻¹
Potassium en K ₂ O	0.14 g kg ⁻¹
Calcium en CaO	4.3 g kg ⁻¹
Magnésium en MgO	0.3 g kg ⁻¹
Température de traitement la plus élevée atteinte lors de la pyrolyse	600.0 °C
pH (en KCl)	9.6
Capacité de rétention d'eau (WHC)	n/a
Surface spécifique (BET)	426.49 m ² g ⁻¹
Teneur en eau	33.4 %
Densité en vrac < 3 mm	144.0 kg m ⁻³
Potential de C-sink (séquestration de carbone)	n/a
version 1.0 - 2021-04-23 10:34:24	

European Biochar Certificate • www.european-biochar.org

Ithaka Institute • CH-1974 Arbaz • +41 27 398 12 92 • info@european-biochar.org

PRESCRIPTIONS POUR TRAVAUX DE GENIE CIVIL	5.11
AMENAGEMENT POUR L'EVACUATION DES EAUX	
Version 07 Janvier 2021	

Sac-gouffre déporté - Type 1.2

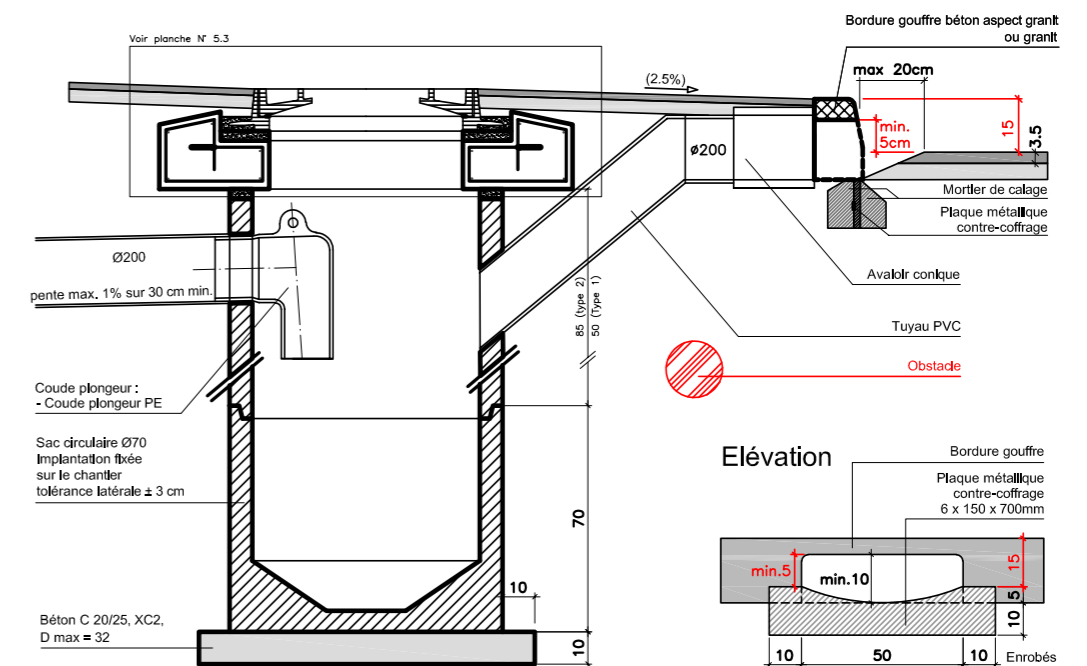
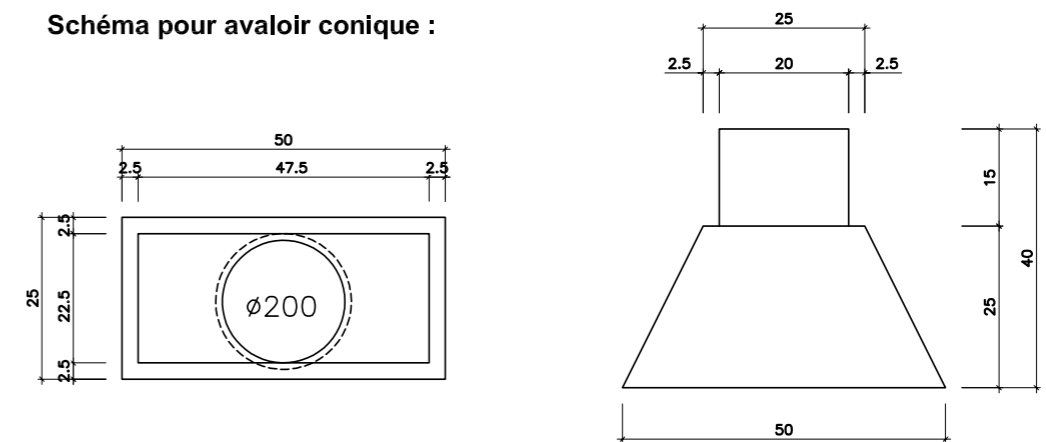


Schéma pour avaloir conique :





Ville de Carouge
Service de l'urbanisme



Office cantonal de l'eau
Service de la planification de l'eau
(OCEAU)

Office cantonal de l'environnement
Service de la géologie, sols et déchets
(OCEV)

**Office cantonal de l'agriculture
et de la nature**
Service du paysage et des forêts
(OCAN)



BCPH ingénierie



apaar_ paysage et architecture
et Robert Perroulaz dendrologue