
Rapport de stage individuel

5^{ème} année DAE

Maîtrise œuvre en aménagement urbain

Suez Consulting/ SAFEGE

16 av. Charles de Gaulle, BALMA 31044



Tutrice entreprise :
Latifa DARRADI
Cheffe de Projet - Responsable du pôle Ouvrages
hydrauliques

Tuteur académique :
José SERRANO
Professeur des universités Aménagement de l'espace et urbanisme

GAILLARD Marlène
IUT
2024-2025

Sommaire

Remerciements.....	1
1. Présentation de l'organisme d'accueil.....	2
a. Chiffres clés et positionnement de Suez Consulting.....	2
b. SUEZ Consulting : imaginer les villes de demain, réaliser des projets durables, permettre l'accès aux services essentiels.....	2
2. Introduction.....	3
3. Maîtrise d'œuvre urbaine : des missions opérationnelles au cœur des projets d'aménagement.....	5
a. Méthodologie de présentation des projets.....	5
b. Réaménagement de la rue de Fonsorbes, Blagnac (31700).....	6
c. Réaménagement du cœur de quartier de Lavoisier, Blagnac (31700).....	7
d. Réaménagement du cœur de quartier de Saouzelong, Toulouse (31400).....	8
e. Travaux préalables d'assainissement pluvial à Saouzelong, Toulouse (31400).....	9
f. L'analyse des offres.....	10
L'analyse financière : une méthode rigoureuse en trois étapes.....	11
Un processus appliqué à plusieurs projets.....	12
Analyse administrative des candidatures.....	12
Préparation de l'analyse technique.....	12
g. Préparation du chantier : étude des plans et autres documents techniques.....	13
Vérification de la conformité des fiches techniques.....	13
Vérification de la justesse techniques des plans.....	15
h. Le suivi de chantier : organisation, méthodes et enjeux.....	17
La rédaction de compte rendu : à la recherche d'une routine optimale.....	17
Au-delà des compétences techniques : une immersion concrète dans le milieu de la VRD.....	19
Vers une totale autonomie : la signalisation verticale rue de fonsorbes.....	20
i. La réception de chantier.....	21
4. Rédaction du protocole de suivi du système Permavoid.....	22
a. Le système permavoid dans le cœur de quartier de Saouzelong.....	22
b. Elaboration du protocole de suivi.....	23
5. Autonomie consolidée : prise en main de projets à long terme.....	26
a. Le lac de Noubals, Mijanès (09460).....	26
b. La rue Arago, Toulouse (31500).....	27
6. Conclusion.....	29
7. Bibliographie.....	31
8. Annexes.....	32
Annexe 1 : Plan du projet de réaménagement de la rue de Fonsorbes à Blagnac.....	32
Annexe 2 : Plan du projet de réaménagement du cœur de quartier de Lavoisier à Blagnac.....	33
Annexe 3 : Plan de masse du projet de réaménagement du cœur de quartier de Saouzelong à Toulouse.....	34
Annexe 4 : Plan des travaux d'assainissement pluvial de Saouzelong à Toulouse.....	35
Annexe 5 : Tableau permettant l'analyse financière des offres.....	36
Annexe 6 : Tableau d'analyse de la complétude des offres pour le cœur de quartier de Lavoisier.....	37
Annexe 7 : Plan de signalisation de la rue Fonsorbes à Blagnac.....	38
Annexe 8 : Spatialisation des Permavoid dans le Cœur de Quartier de Saouzelong à Toulouse - Plan issu du DCE.....	39
Annexe 9 : Protocole élaboré pour le suivi du système Permavoid.....	40

Remerciements

Au terme de ces 18 semaines de stage, je souhaite exprimer ma sincère et profonde gratitude à l'ensemble des collaborateurs de SUEZ Consulting, qui m'ont accueillie avec bienveillance, confiance et enthousiasme.

Je remercie tout particulièrement Madame Latifa DARRADI, ma tutrice de stage, cheffe de projet et responsable du pôle ouvrages hydrauliques, pour son accompagnement attentif, sa disponibilité, et la rigueur inspirante dont elle fait preuve au quotidien. Son regard à la fois technique et humain a été un véritable repère tout au long de mon parcours.

Je tiens également à adresser mes remerciements à Axelle DEGRUGILLIERS, Bastien LALECHERE, Gilles TOURBILLON et Cédric PHILIPPEAU, mes collègues en maîtrise d'œuvre urbaine, qui ont su me transmettre leur savoir avec générosité, en m'impliquant dans des projets concrets, variés et formateurs. Leur patience et leur pédagogie ont contribué à faire de ce stage une réelle montée en compétences.

Ma reconnaissance va tout particulièrement à Monsieur Jérôme MACARY, avec qui j'ai eu le plaisir de collaborer de manière quotidienne. Son exigence, sa pédagogie et sa passion pour le métier m'ont permis d'acquérir des bases solides en Voirie et Réseaux Divers (VRD), que je considère aujourd'hui comme un socle précieux pour la suite de mon parcours.

Enfin, je remercie chaleureusement toutes les personnes présentes sur le site de Toulouse. Leur disponibilité, leur esprit d'équipe et leur bonne humeur ont créé un cadre de travail à la fois stimulant et humain, où j'ai pu évoluer en toute confiance.

À vous tous, merci pour l'accueil, la transmission, les échanges, et pour m'avoir permis de trouver ma place, au sein de votre équipe. Ce stage restera une étape marquante de ma formation, à la fois sur le plan professionnel et personnel.

1. Présentation de l'organisme d'accueil

Les informations mentionnées dans cette partie proviennent d'un support de communication interne à SUEZ Consulting

a. Chiffres clés et positionnement de Suez Consulting

SUEZ Consulting est une entité du groupe SUEZ, spécialisée dans l'ingénierie et le conseil pour accompagner les territoires et les sites industriels dans leur transition énergétique et écologique.

Forte de plus de 70 ans d'expérience, l'entreprise intervient en tant que partenaire de long terme auprès des acteurs publics et privés pour concevoir et réaliser des projets d'aménagement durables et résilients.

En 2024, SUEZ Consulting comptait environ 40 000 collaborateurs répartis dans 40 pays sur quatre continents. Son chiffre d'affaires s'élevait à 139 millions d'euros, dont plus de 35 % réalisés à l'international. Présente sur l'ensemble du territoire français à travers 32 sites comme le montre la figure ci-dessous [Figure 1], elle possède également 5 grands centres régionaux en France, Belgique, Pologne, Serbie et au Maroc.



Figure 1 : Sites de Suez Consulting en France

Grâce à son expertise, elle contribue à desservir plus de 68 millions d'habitants en eau potable, à éviter 4 millions de tonnes de CO₂ et à produire 3,7 TWh d'énergie à partir des déchets et eaux usées.

b. SUEZ Consulting : imaginer les villes de demain, réaliser des projets durables, permettre l'accès aux services essentiels

L'activité de SUEZ Consulting couvre un large spectre de domaines : la gestion de l'eau potable et des eaux pluviales, l'assainissement, la valorisation des déchets, l'aménagement urbain, la protection de la biodiversité, la transition énergétique, ou encore le développement de solutions numériques

(modélisation, jumeaux numériques, data visualisation). L'entreprise est notamment reconnue pour son expertise en hydraulique urbaine et environnementale, en génie écologique, ainsi qu'en aménagement de territoires face aux effets du changement climatique.

Les missions de SUEZ Consulting s'organisent autour d'une approche intégrée de l'ingénierie. L'entreprise intervient à toutes les étapes d'un projet : conseil stratégique, assistance technique, études de faisabilité, maîtrise d'œuvre, supervision de travaux, exploitation, maintenance, ou encore accompagnement réglementaire. Cette approche globale permet d'assurer la cohérence et la performance des projets, tout en respectant les contraintes budgétaires, les délais, et les enjeux environnementaux.

L'objectif est de concilier les performances économiques, sociales et écologiques des projets en proposant des solutions durables, en lien direct avec les Objectifs de Développement Durable (ODD). SUEZ Consulting place l'innovation au cœur de sa démarche, ce qui, comme vous le verrez à la lecture de ce rapport, s'est reflété durant mon stage, notamment à travers l'utilisation d'outils numériques de pointe, de modèles de prévision ou encore de dispositifs de suivi environnemental. L'entreprise veille également à renforcer l'acceptabilité des projets auprès des citoyens et des parties prenantes locales, en intégrant dès l'amont les spécificités territoriales et les attentes sociétales.

Grâce à son expertise, sa présence locale et son approche orientée vers la transition écologique, SUEZ Consulting joue un rôle clé dans la transformation des territoires, en imaginant des solutions concrètes pour construire les villes et infrastructures de demain.

2. Introduction

Avant de présenter les missions réalisées au cours de mon stage, il me semble important d'introduire brièvement certaines notions de base en maîtrise d'œuvre, afin de mieux contextualiser la suite de mon propos. Durant cette période, j'ai eu l'opportunité de travailler sur plusieurs projets en parallèle, chacun présentant ses spécificités ainsi qu'un positionnement différent de notre rôle en tant que maître d'œuvre.

De manière générale, mon stage peut être structuré autour de deux grandes thématiques :

- D'une part, un travail de maîtrise d'œuvre "classique", avec des missions techniques liées à la conduite opérationnelle de projets d'aménagement urbain ;
- D'autre part, une contribution à des projets orientés innovation, intégrant des démarches de réflexion sur les pratiques de conception et l'adaptation aux enjeux de transition écologique.

Afin de mieux introduire ces deux catégories de missions et d'en expliquer le contexte, je présente ci-après un schéma synthétique des différentes phases d'un projet sur lesquelles un maître d'œuvre peut être amené à intervenir [Figure 2]. Ce support permettra de visualiser les étapes clés du cycle de vie d'un projet d'aménagement et de situer les missions auxquelles j'ai contribué durant mon stage.



Figure 2 : Série de phases d'un projet en maîtrise d'oeuvre

- **Esquisse (ESQ)** : Cette première phase vise à proposer des solutions d'ensemble traduisant les éléments majeurs du programme. Elle permet également de vérifier la faisabilité technique du projet.
- **Avant-Projet (AVP)** : À ce stade, les solutions retenues sont étudiées de manière plus détaillée. Des plans, des descriptions techniques précises ainsi qu'une estimation affinée des coûts et des délais sont produits afin de préparer la suite du projet.
- **Projet (PRO)** : Cette phase correspond à l'élaboration des plans définitifs et de l'ensemble des documents techniques nécessaires à la consultation des entreprises. Elle formalise les choix techniques arrêtés.
- **Dossier de Consultation des Entreprises (DCE)** : Le DCE correspond à la phase de préparation de l'appel d'offres en vue de la réalisation des travaux. Il regroupe l'ensemble des pièces nécessaires à la consultation des entreprises : règlement de consultation, cahier des charges, plans, bordereaux de prix, etc. Toutefois, cette phase n'est pas systématiquement requise dans le cadre de certains types de marchés publics. Par exemple, dans un marché à bons de commande, l'entreprise titulaire étant déjà désignée, la consultation peut être allégée, voire supprimée.
À noter également la distinction avec l'accord-cadre, qui constitue un contrat conclu entre un ou plusieurs prestataires et un acheteur public, définissant les conditions générales d'exécution des futurs marchés (prix, délais, prestations). Ce type de contrat implique la mise en concurrence pour chaque marché subséquent. À l'inverse, le marché à bons de commande permet à l'acheteur de passer plusieurs commandes auprès d'un ou plusieurs titulaires, selon les besoins, sans relancer une procédure complète à chaque fois [1].
- **Assistance à la passation des contrats de travaux (ACT)** : Cette phase consiste à analyser les offres reçues et à accompagner le maître d'ouvrage dans l'attribution du marché. Elle est particulièrement mobilisée dans le cadre des accords-cadres, mais souvent allégée dans les marchés à bons de commande.
- **Visa des plans d'exécution (VISA)** : Le maître d'œuvre vérifie et valide les plans d'exécution produits par l'entreprise pour s'assurer de leur conformité avec le projet.
- **Direction de l'exécution des travaux (DET)** : Le maître d'œuvre suit l'avancement du chantier, coordonne les différents intervenants et veille au respect des délais, du budget et de la qualité des travaux.
- **Assistance aux opérations de réception (AOR)** : Dernière phase du projet, elle consiste à organiser et accompagner la réception des travaux, en vérifiant leur conformité par rapport aux documents contractuels.

Par ailleurs, cette frise chronologique a été l'un des premiers outils que j'ai dû m'approprier à mon arrivée chez Suez Consulting, dans la mesure où elle structure l'ensemble de l'intervention du maître d'œuvre tout au long du projet. C'est également la raison pour laquelle (presque) aucune source n'est mentionnée dans la présentation ci-dessus : elle résulte directement de ma propre compréhension, construite progressivement au fil de mon stage. Ce dernier point est également valable pour la suite de mon rapport.

Ce rapport n'a pas pour objectif de dresser une liste exhaustive de l'ensemble des missions qui m'ont été confiées au cours de mon stage, ni d'en détailler systématiquement chaque aspect. J'ai fait le choix de me concentrer sur les missions principales, celles qui ont été les plus formatrices, les plus riches en enseignements ou les plus propices à la réflexion.

Sur la forme, j'ai opté pour une approche volontairement plus personnelle que purement académique. Ce parti pris vise à refléter avec justesse mon implication réelle dans les projets ainsi que mon cheminement professionnel et personnel tout au long de cette expérience.

Enfin, la présentation des missions ne suit pas un ordre chronologique ou hiérarchique. J'ai choisi de les organiser par thématique de travail. Ce mode de structuration vise à rendre compte de manière cohérente de l'évolution de mon rôle au sein de l'équipe, ainsi que de ma montée en compétences en tant que future ingénieure en maîtrise d'œuvre en aménagement urbain.

3. Maîtrise d'œuvre urbaine : des missions opérationnelles au cœur des projets d'aménagement

a. Méthodologie de présentation des projets

Pour présenter mes missions de manière cohérente et pertinente, j'ai fait le choix d'organiser cette partie en deux temps.

Tout d'abord, je propose une mise en contexte des principaux projets sur lesquels j'ai été mobilisé. En effet, bien que plusieurs projets aient jalonné mon stage, deux d'entre eux se sont révélés particulièrement structurants. Il m'a donc semblé essentiel de les présenter en amont : leur nature, leur objectif, le type de travaux engagés, etc. Cette contextualisation permettra de mieux comprendre l'environnement dans lequel mes missions ont été réalisées.

Ensuite, dans une seconde partie, je détaille les différentes missions qui m'ont été confiées, en les regroupant par typologie, plutôt que par projet. Ce choix s'explique par le fait que, durant mon stage, j'ai été amené à intervenir de manière transversale sur ces deux projets, qui se déroulaient en parallèle. Ainsi, les tâches que j'ai effectuées étaient très similaires d'un projet à l'autre, et j'ai pu progresser de façon simultanée sur les deux fronts. Cela n'exclut pas, bien entendu, de mettre en lumière les apports spécifiques de chaque projet pour une mission donnée. Lorsque cela s'avère pertinent, je préciserai donc ce que tel ou tel projet m'a permis d'acquérir comme compétences ou connaissances dans le cadre d'une même activité.

Ainsi, au cours de mon stage, j'ai eu l'opportunité de contribuer au suivi de deux opérations de réaménagement urbain situées sur des sites distincts : l'une à Blagnac, commune de l'ouest toulousain, et l'autre dans le quartier de Saouzelong, à Toulouse. Ces deux projets s'inscrivent dans le cadre du programme "Cœurs de quartier", initié et piloté par Toulouse Métropole. Ce programme vise à réhabiliter et requalifier les espaces publics à l'échelle locale, dans une logique de proximité et de qualité de vie. Il repose sur cinq grands axes : préserver l'identité de chaque quartier, pacifier les circulations et l'espace public, végétaliser et embellir les lieux de vie, faciliter l'accès aux espaces naturels, et dynamiser les commerces de proximité [2]. Dans ce contexte, les deux projets auxquels j'ai participé font partie de marchés publics de travaux, relevant de la compétence de la Métropole.

b. Réaménagement de la rue de Fonsorbes, Blagnac (31700)



Le projet se situe rue de Fonsorbes, à Blagnac, à l'ouest de Toulouse [Figure 3].

Figure 3 : Localisation du projet – Image issue de Géoportail

Dans le cadre du programme “Cœur de Quartier”, une partie de la rue de Fonsorbes a fait l'objet d'un projet de réaménagement complet visant à restructurer totalement l'espace public [Figure 4].



Figure 4 : Emprise du projet (en violet) – Image satellite issue de Géoportail

Vous trouverez en annexe un plan du projet ([Annexe 1](#)).

L'objectif principal est de redonner la priorité aux piétons, tout en intégrant de la végétation dans une rue qui, initialement, n'était composée que d'une chaussée et de places de stationnement, comme l'illustre la photo ci-dessous [Figure 5].



Figure 5 : Rue de Fonsorbes en janvier 2022 – Image Google Maps



Figure 6 : Rue de Fonsorbes en août 2025 – Image personnelle

Le projet prévoit donc la mise en place d'une zone de rencontre, dans laquelle la priorité est donnée aux piétons, tout en leur garantissant des zones de refuge pour assurer leur sécurité en cas de croisement avec un véhicule, compte tenu de la largeur restreinte de la voie. Ce chantier s'est achevé durant mon stage, ce qui me permet de présenter également une photo illustrant l'état de la rue après aménagement [Figure 6]. Par ailleurs, ayant suivi la quasi-totalité des travaux, les différentes étapes ainsi que mon rôle spécifique sur ce chantier seront détaillés dans les parties suivantes, consacrées à la présentation de mes missions.

c. Réaménagement du coeur de quartier de Lavoisier, Blagnac (31700)



Le projet se situe au niveau du cœur de quartier de Lavoisier dans le centre de la commune de Blagnac [Figure 7].

Figure 7 : Localisation du projet – Image issue de Géoportail

L'objectif du projet est de réaménager la rue Antoine-Laurent Lavoisier et la place attenante ainsi que le tronçon Est de la rue de Fonsorbes, dans la continuité du réaménagement du reste de la rue de Fonsorbes [Figure 8].



Figure 8 : Emprise du projet (en violet) – Image satellite issue de Géoportail

Le projet intègre une part importante de végétalisation et restitue de l'espace aux piétons. De nouveaux usages sont prévus sur la place, afin d'en faire un lieu de rencontres convivial pour tous, comme par exemple un jardin équipé de jeux pour enfants. Ces aménagements s'accompagnent de la construction d'une maison de santé, qui viendra renforcer l'offre médicale locale.

Dans la suite du rapport, ce projet sera désigné de manière simplifiée par l'appellation "CDQ Lavoisier", en référence au nom couramment utilisé par les différents intervenants au cours de mon stage.

Vous trouverez en annexe un plan du projet ([Annexe 2](#)).

d. Réaménagement du cœur de quartier de Saouzelong, Toulouse (31400)

Le présent projet vise le réaménagement du cœur du quartier de Saouzelong¹, situé au sud-est de la commune de Toulouse [Figure 9] .



Figure 9 : Localisation du projet – Image issue de Géoportail

Son objectif principal est de repenser l'organisation de l'avenue Albert Bedouce ainsi que des voiries secondaires attenantes, tout en requalifiant deux espaces publics majeurs : la place située à proximité de la station de métro et celle du parking accueillant le marché "plein vent" [Figure 10].

¹ Pour l'anecdote, le nom "Saouzelong" tire son origine de l'occitan "Sause Long", qui signifie "grand saule" ou encore "saule tardif" [3]



Figure 10 : Emprise du projet de réaménagement du coeur de quartier de Saouzelong, environ 6 100 m² –
Image issue de la documentation interne à Suez Consulting

Ce projet s’inscrit dans une stratégie plus large de renaturation urbaine, visant à transformer ce secteur en un « quartier-parc ».

Le projet se distingue par une gestion alternative des eaux pluviales sur l’emprise concernée [Figure 10]. Cette spécificité a conduit à l’élaboration d’un protocole de suivi durant mon stage, sur lequel nous reviendrons plus loin.

Dans la suite du rapport, ce projet sera désigné de manière simplifiée par l’appellation “CDQ Saouzelong”, en référence au nom couramment utilisé par les différents intervenants au cours de mon stage.

Vous trouverez en annexe un plan du projet ([Annexe 3](#)).

e. Travaux préalables d’assainissement pluvial à Saouzelong, Toulouse (31400)

Dans le cadre du réaménagement du CDQ de Saouzelong, la première étape du projet a consisté à renouveler les réseaux d’assainissement pluvial.

Plus précisément, les travaux ont porté sur la pose de 140 mètres linéaires de réseau gravitaire en diamètre 400 mm, de 26 mètres linéaires de branchements annexes, en béton ou en PVC, ainsi que l’installation de 6 regards de visite.

Vous trouverez en annexe un plan du projet ([Annexe 4](#)).

Comme mentionné précédemment, les projets évoqués ci-dessus ont été initiés par Toulouse Métropole ; ils relèvent donc de marchés publics, lesquels peuvent prendre différentes formes contractuelles. En effet, j’ai rapidement été confrontée à deux formes de contrats fréquents en maîtrise d’œuvre urbaine : le marché à bons de commande et le marché en accord-cadre — deux notions que j’ai définies dans la section précédente.

Ces types de contrats ont structuré l’organisation des projets sur les deux sites :

- À Blagnac, la rue de Fonsorbes relevait d'un marché à bon de commande, tandis que le réaménagement du cœur de quartier Lavoisier s'inscrivait dans un accord-cadre.
- À Toulouse, les travaux d'assainissement pluvial étaient traités via un bon de commande, tandis que le réaménagement de surface du cœur de quartier faisait partie d'un accord-cadre.

Même si ces projets faisaient partie d'un même site ou d'une même opération de réaménagement, les différences de nature, de temporalité et d'intervenants entre les deux types de contrats m'ont donné l'impression de participer à quatre projets distincts. Cette distinction m'a permis d'élargir mes compétences en gestion de projet, en adaptant mes interventions aux spécificités contractuelles et techniques de chaque chantier. Ces quatre suivis de chantier ont été le point de départ d'un ensemble varié de missions, à la fois en amont et en aval.

L'ensemble de ces missions sera détaillé dans la partie qui suit.

f. L'analyse des offres

ACT

Avant tout démarrage de chantier, une phase de préparation en amont est indispensable, tant sur le plan technique qu'administratif. En effet, avant que l'entreprise attributaire n'intervienne sur site, il est nécessaire de vérifier la cohérence de ses documents techniques, de valider ses plans d'exécution, et de s'assurer que l'ensemble des éléments réglementaires, logistiques et financiers soit conforme aux attentes du maître d'ouvrage.

Cette étape préalable inclut également le processus de désignation de l'entreprise chargée des travaux, lorsque celle-ci n'est pas encore connue. C'est dans ce cadre qu'intervient la phase ACT (Assistance pour la passation des Contrats de Travaux), qui constitue l'une des missions fondamentales de la maîtrise d'œuvre.

Comme mentionné précédemment, la phase ACT ne s'applique principalement aux marchés en accord-cadre. Dans le cadre de mon stage, cette phase a donc uniquement concerné les projets de réaménagement du cœur de quartier Lavoisier à Blagnac et de celui de Saouzelong à Toulouse.

L'analyse des offres a été l'une des premières missions concrètes qui m'a été confiée à mon arrivée chez Suez Consulting. Cette tâche consiste à étudier les candidatures déposées par différentes entreprises en réponse à un appel d'offres, dans le but de sélectionner l'opérateur le plus pertinent pour l'exécution du marché.

Chaque opération de réaménagement est en effet découpée en plusieurs lots, selon les spécialités techniques requises. Cette organisation permet de confier les différents volets du projet à des entreprises spécialisées dans des domaines spécifiques. Cette décomposition en lots n'est pas standardisée : elle varie en fonction des caractéristiques du projet. Dans le cadre de mes missions, et en cohérence avec la nature de mon stage et de ma formation, j'ai été mobilisé pour l'analyse des offres relatives au lot VRD (Voirie et Réseaux Divers). Concrètement, une fois le DCE mis en ligne, les entreprises intéressées doivent le compléter et déposer leur candidature dans le cadre de la procédure d'appel d'offres pour la mise en concurrence. Mon rôle a donc été d'analyser les documents remis pour chaque entreprises, puis de comparer les différentes offres reçues sur la base de critères objectifs (techniques, organisationnels, financiers), conformément à la grille d'analyse établie par le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage.

Il me semble pertinent, à ce stade, de proposer une brève introduction afin de présenter et définir les documents du DCE que j'ai utilisés durant mon stage. L'objectif n'est pas de passer en revue

l'ensemble des pièces du DCE, mais uniquement celles qui m'ont été utiles dans le cadre de mes différentes missions :

- **Le Bordereau des Prix Unitaires (BPU)** : Ce document liste les prix unitaires des différents éléments ou prestations nécessaires à la réalisation du projet, et précise ce qui est inclus dans chaque prix. Par exemple, il permet de savoir si, dans le prix d'une démolition de chaussée, le transport des déblais est compris ou non.
- **Le Détail Quantitatif Estimatif (DQE)** : Il permet d'estimer le coût global du projet en multipliant les quantités prévues par les prix unitaires.
- **L'Acte d'engagement (AE)** : L'acte d'engagement est un document contractuel par lequel le candidat confirme son acceptation des conditions du marché public, telles qu'elles sont définies dans les pièces constitutives et contractuelles du dossier [4].
- **Le Règlement de la Consultation (RC)** : Ce document définit les règles de la consultation et précise les attentes vis-à-vis des candidats. Par exemple, des attentes environnementales par certaines caractéristiques pour les enrobés.

Dans le cadre de la phase ACT, l'analyse des offres repose sur trois volets complémentaires : l'analyse des candidatures, l'analyse technique et l'analyse financière. Étant encore en phase d'apprentissage à mon arrivée, notamment sur les aspects techniques des travaux de VRD, mes premières contributions se sont concentrées principalement sur l'analyse administrative des candidatures et l'analyse financière.

L'analyse financière : une méthode rigoureuse en trois étapes

L'analyse financière constitue une étape clé du processus de sélection, visant à vérifier la cohérence, la fiabilité et la compétitivité de l'offre proposée par chaque entreprise. J'ai progressivement appris à la réaliser selon une méthode structurée en trois temps :

1. Reconstitution du DQE et contrôle du montant global de l'offre

Ma première mission consistait à reproduire le DQE fourni dans l'offre de l'entreprise, en y intégrant ses prix unitaires, afin de recalculer le montant total et vérifier sa cohérence avec celui annoncé. En parallèle, j'ai comparé ces prix avec l'estimation réalisée par la maîtrise d'œuvre lors de la phase PRO, basée sur des projets similaires et des quantités prévisionnelles. Cette analyse permettait d'identifier d'éventuels écarts ou incohérences (prix anormalement bas ou élevés). Un extrait du tableau d'analyse financière concernant le CDQ Saouzelong figure en annexe ([Annexe 5](#)).

2. Vérification de la cohérence entre le DQE et le BPU

Le BPU étant un document de référence dans lequel chaque prestation est détaillée avec son prix unitaire, il est essentiel de garantir la cohérence entre le BPU et le DQE. Pour chaque ligne, j'ai dû donc m'assurer que le prix unitaire utilisé dans le DQE correspondait bien à celui indiqué dans le BPU de l'entreprise. Ce travail pouvait être relativement long et fastidieux, notamment sur les projets de grande envergure comme ceux de Saouzelong ou de Lavoisier, qui comportaient parfois plus de 200 lignes de prix.

3. Contrôle de la cohérence avec l'acte d'engagement

Enfin, il fallait vérifier que le montant global du marché, tel qu'il apparaissait dans le DQE ([Annexe 5](#)), correspondait exactement à celui indiqué dans l'acte d'engagement. Ce contrôle final assurait l'absence d'ambiguïté entre les documents financiers.

Un processus appliqué à plusieurs projets

Cette méthode a été appliquée à chacune des offres reçues dans le cadre des projets de réaménagement du cœur de quartier de Saouzelong et de Lavoisier. Pour chaque appel d'offres, nous recevions en moyenne entre trois et cinq candidatures, ce qui représentait un volume conséquent de travail.

Par ailleurs, j'ai été amenée à réaliser ponctuellement cette analyse financière sur d'autres projets, en appui à mes collègues, ce qui m'a permis de traiter au total cinq projets distincts au cours de mon stage. Cette répétition m'a permis d'affiner progressivement ma méthode de travail. Par exemple, lors de mes premières analyses, je partais d'un ancien DQE correspondant à un autre projet, que je réadaptais ensuite ligne par ligne — une méthode très chronophage. Par la suite, j'ai optimisé ce processus en travaillant directement à partir du fichier DQE vierge fourni par la maîtrise d'œuvre, ce qui m'a permis de gagner en efficacité tout en réduisant les risques d'erreur. Cette méthode peut sembler évidente, mais c'est une compétence que j'ai acquise au fil de mon expérience durant ce stage.

Au fil de ces missions, j'ai ainsi acquis une meilleure compréhension des mécanismes de structuration budgétaire d'un projet, de la logique des prix unitaires, ainsi que des enjeux financiers liés à la passation de marché.

Analyse administrative des candidatures

Cette tâche consistait à vérifier la complétude et la conformité des dossiers remis par les entreprises candidates, en m'assurant que tous les documents exigés dans le RC étaient bien présents et correctement renseignés.

Parmi les pièces les plus fréquemment demandées figuraient le formulaire DC1 (lettre de candidature), le formulaire DC2 (déclaration du candidat), le chiffre d'affaires au cours des trois dernières années etc. Par exemple, concernant le CDQ Lavoisier, vous trouverez en annexe ([Annexe 6](#)) mon analyse de la complétude des offres des trois candidats pour l'opération. Mon rôle était donc de cocher point par point ces éléments dans un tableau de suivi afin de signaler tout élément manquant ou non conforme, ce qui pouvait entraîner le rejet d'une candidature. Dans l'exemple fourni en annexe ([Annexe 6](#)), tous les candidats ont remis l'ensemble des documents requis.

Préparation de l'analyse technique

En parallèle, j'ai participé à la préparation de l'analyse technique. Mon implication s'est concentrée sur la préparation du cadre d'évaluation, en amont du travail de fond réalisé par mes collègues ingénieurs.

Concrètement, à partir du RC, j'ai extrait les critères techniques de sélection (organisation du chantier, moyens, méthodologie, gestion des nuisances, etc.) et les ai structurés dans un tableau Excel pour faciliter l'évaluation comparative.

Lors de la lecture des pièces techniques, j'ai principalement vérifié la présence et la validité formelle des documents (fiches techniques signées, certifications à jour), sans analyser leur contenu technique en détail, ce travail relevant des ingénieurs spécialisés.

Ce travail, bien que répétitif, requiert une grande rigueur. En effet, une erreur ou un oubli dans la lecture technique peut entraîner la sélection d'une offre inadaptée, ce qui pourrait compromettre la bonne exécution du projet. J'ai rapidement compris l'importance stratégique de cette phase.

Au cours de cette mission, j'ai pu constater que, malgré l'importance de cette étape, le temps imparti à l'analyse technique est parfois restreint, où les délais de réponse sont souvent compressés. Dans ce contexte, certains aspects peuvent être traités de manière plus synthétique, par manque de temps ou de ressources. Par ailleurs, certains marchés permettent une phase de négociation, notamment lorsqu'il s'agit de procédures adaptées ou d'accords-cadres. Cela implique d'échanger avec les entreprises candidates, de formuler des demandes de précisions, puis d'analyser de nouveau les offres modifiées à chaque itération. Ainsi, dans la pratique, le temps alloué à cette phase d'analyse est parfois restreint, ce qui rend difficile une évaluation exhaustive. Cela met en lumière un réel enjeu de gestion du temps et des priorités en maîtrise d'œuvre. Ainsi, cet exercice m'a fait prendre conscience de l'exigence de rigueur et de réactivité propre à la maîtrise d'œuvre en phase ACT. Il m'a aussi permis de développer des réflexes méthodologiques : classement des documents, vérification croisée, suivi des pièces manquantes, anticipation des critères d'évaluation, etc.

Une fois l'ensemble des offres analysées – tant sur les aspects administratifs, techniques que financiers – les candidats sont notés selon une grille d'évaluation prédéfinie. Les critères de notation sont clairement établis dans le règlement de consultation et donc connus par les entreprises soumissionnaires. À l'issue de ce processus, une note globale est attribuée à chaque entreprise. Celle qui obtient le meilleur score est, en principe, retenue. Une fois l'entreprise retenue officiellement notifiée du marché, débute alors une nouvelle phase essentielle : la préparation du chantier (phase VISA). Cette phase sera détaillée dans la partie suivante.

Il est également intéressant de souligner que cette première immersion au sein de l'entreprise m'a permis de découvrir un nouveau champ lexical qui m'était jusque-là totalement inconnu, un champ lexical technique. En effet, je n'avais aucune notion de ce qu'étaient un regard, un avaloir, une géomembrane, etc., que j'ai découverts en lisant le DQE. Ce vocabulaire technique s'est d'autant plus enrichi lors du suivi de chantier, une phase que nous aborderons plus en détail par la suite.

g. Préparation du chantier : étude des plans et autres documents techniques

Conformément à la chronologie présentée dans l'introduction [Figure 2], une fois les étapes préliminaires du projet achevées et après notification du marché à l'entreprise, débute, pour le maître d'œuvre, la phase dite « VISA ».



VISA

L'objectif ici n'est pas de décrire de manière exhaustive cette phase, mais plutôt de mettre en lumière mon implication et mes missions durant cette étape. Concrètement, j'ai d'abord joué un rôle de soutien en vérifiant la conformité des fiches techniques transmises par l'entreprise. Progressivement, avec le temps et l'expérience, j'ai gagné en autonomie et me suis également investie dans l'analyse des plans fournis.

Vérification de la conformité des fiches techniques

Lors de la phase VISA, l'entreprise doit transmettre l'ensemble des fiches techniques correspondant aux fournitures qu'elle prévoit d'utiliser dans le cadre du projet. En théorie, une fiche technique devrait être fournie pour chaque ligne du DQE, et le maître d'œuvre est chargé d'en contrôler la conformité.

Par exemple, si l'on se réfère au DQE du Cœur de Quartier Lavoisier [Figure 11], l'entreprise est tenue de fournir une fiche technique pour chaque équipement listé, notamment pour tous les types de bordures de et chaînettes ci-dessous (Prix 601).

600	TRAVAUX DE VOIRIE ET TERRASSEMENT ET REVÊTEMENTS	
601	Fourniture et mise en œuvre de bordures	
601.1	Chaînette pavés C1 (caniveau rive de chaussée) Pavés type "Breinco Tegula six" ou similaire, coloris type "Arena" 3 rangs Pavés Largeur 10cm > Longueur 20cm > Epaisseur 10cm Joint en mortier spécial	ml
601.2	Chaînette pavés C3 (rive de façade) Pavés type "Breinco Tegula art" ou similaire, coloris type "Arena" Largeur 16cm > Longueur 24cm > Epaisseur 7cm Joint en mortier spécial	ml
601.3	Chaînette pavés C4 (bord de massif) Pavés type "Breinco Ishi Tegula" ou similaire, coloris type "Arena" 1 rang Largeur 4,8cm > Longueur 24cm > Epaisseur 16cm Posé sur la tranche - Vue 5cm Joint en mortier spécial	ml
601.4	Bordure droite B1 Bordure type "Breinco B20 coloris Arena" Largeur 20cm > Longueur 100cm > Epaisseur 25cm	ml
601.5	Bordure droite B2 (marquage stationnement) Bordure type "Breinco CR1 coloris type "Arena" Largeur 8cm > Longueur 100cm > Epaisseur 20cm Pose arasée	ml
601.6	Bordure droite B3 (chasse roue) Bordure type "Breinco A30 coloris type "Arena" Largeur 30cm > Longueur 100cm > Epaisseur 30cm Pose saillante vue 10cm	ml
601.7	Fourniture et mise en œuvre d'une Cornière acier	ml

Figure 11 : Extrait du Détail Estimatif Quantitatif du cœur de Quartier Lavoisier faisant partie intégrante de l'annexe 5.

En pratique, au vu de la grandeur des travaux et donc du nombre de fournitures requises, cette tâche représente un volume de travail considérable, surtout lorsque toutes les fiches sont transmises en même temps. C'est pourquoi le maître d'œuvre doit opérer une sélection, en priorisant les fiches des fournitures les plus critiques ou celles prévues en grande quantité. Dans le cadre du projet Lavoisier, sur un total de 77 fournitures, nous avons ainsi sollicité 51 fiches techniques ciblées.

Mon rôle consistait à m'assurer que chaque fiche technique reçue respectait les exigences définies dans le CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières). Le CCTP constitue une référence clé : il énumère toutes les caractéristiques techniques, normes, contraintes et méthodes de mise en œuvre auxquelles les entreprises doivent se conformer. Pour cela, j'ai d'abord extrait les caractéristiques techniques requises pour chaque fourniture à partir du CCTP, que j'ai ensuite compilées dans un tableau Excel afin de faciliter les vérifications ultérieures. Une fois les fiches techniques reçues, je les ai analysées une par une en les comparant rigoureusement aux critères définis dans ce tableau, ce qui m'a permis de vérifier leur conformité de manière structurée. J'ai effectué cette tâche pour le CDQ Saouzelong et pour le CDQ Lavoisier, soit pour près de 114 fiches techniques au total (51 pour Lavoisier et 63 pour Saouzelong).

Cet exercice m'a permis d'approfondir mes connaissances techniques et de mieux identifier les produits utilisés en aménagement urbain. J'ai notamment découvert les différences entre les classes de béton : le XF1, plus résistant au gel, était requis pour des regards d'eaux pluviales, ce qui m'a conduit à refuser la fiche technique du béton XF0 proposé. À l'inverse, pour les tuyaux en PVC, le modèle CR16, plus rigide que le CR8 prévu, a été validé car il offrait une meilleure résistance aux remblais.

En conclusion, cette mission m'a également permis de comprendre que le métier de maître d'œuvre repose, entre autres, sur la capacité à prioriser. Je suis consciente que le travail que j'ai réalisé — c'est-à-dire relever toutes les caractéristiques du CCTP afin de vérifier minutieusement les informations présentes sur les fiches techniques — ne pourra pas être systématiquement reproduit, en raison des contraintes de temps. Dans le cadre de mon stage, cet exercice a toutefois été très enrichissant et formateur. De plus, j'ai pu remarquer que², d'un projet de réaménagement urbain à un autre, les fournitures sont presque toujours les mêmes, compte tenu de la nature des projets et

² Entre le CDQ Saouzelong et le CDQ Lavoisier notamment

de leur localisation, ce qui implique que les exigences techniques sont souvent similaires. Ainsi, avec l'expérience, je pense qu'il me sera plus facile et rapide de repérer si une fiche technique est conforme ou non. Seules certaines spécificités, comme le système Permavoid utilisé dans le cœur de quartier de Saouzelong, dont nous parlerons plus tard, nécessiteront une attention particulière.

Vérification de la justesse techniques des plans

Ma seconde implication lors de cette phase concernait l'analyse des plans fournis par l'entreprise. En fonction de l'avancement des quatre projets que j'ai détaillés précédemment, j'ai pu examiner les plans en phase VISA uniquement pour les Cœurs de Quartier de Saouzelong et de Lavoisier, puisque, à mon arrivée chez Suez Consulting, les autres projets étaient déjà passés en phase DET. Or, au moment où je rédige ce rapport, j'ai principalement travaillé sur le CDQ Lavoisier. C'est pourquoi, dans la suite de cette partie, je prendrai ce projet comme exemple.

J'ai notamment contribué à la vérification des plans d'assainissement pour le CDQ de Lavoisier, situé à Blagnac. Mon rôle consistait à m'assurer que, selon les fils d'eau, l'eau s'écoulait correctement. Concrètement, je vérifiais que l'eau entrant dans un avaloir s'écoulait bien jusqu'au regard avant d'être évacuée hors de l'emprise du projet. J'avais également pour mission de m'assurer qu'il n'y avait pas de conflits de passage entre différents réseaux, par exemple entre les réseaux d'eau potable et d'eau usée.

Pour cela, mon collègue encadrant utilisait la version PDF des plans sur laquelle il ajoutait directement des annotations³. Cependant, en raison de la taille importante des fichiers, les plans étaient souvent lourds à charger et il était difficile, selon moi, de faire défiler correctement les documents. Nous aurions pu travailler avec la version DWG des plans, mais compte tenu de mon aisance sur Autocad, cela aurait été beaucoup plus fastidieux et, il ne faut pas oublier que nous avons appris qu'un ingénieur doit optimiser son temps de travail.

C'est pourquoi j'ai préféré utiliser la plateforme FieldWire, que j'ai découverte durant mon stage et avec laquelle je me sentais plus à l'aise. FieldWire est une plateforme qui permet de visualiser et de parcourir les plans de façon très fluide, tout en offrant de nombreuses fonctionnalités, notamment la prise de notes directement sur le plan.

Ainsi, j'ai dû apprendre à lire un plan comportant des étiquettes permettant d'identifier les cotes des infrastructures. En effet, tout comme pour les caractéristiques du béton mentionnées précédemment, je ne maîtrisais pas la lecture des plans de réseaux avant le début de ce stage. Concrètement, j'ai découvert que les étiquettes des réseaux enterrés comportent trois informations principales, toutes exprimées en mètres NGF⁴ : la génératrice supérieure du réseau, la cote de la génératrice inférieure (correspondant au fil d'eau pour les ouvrages hydrauliques), ainsi que la profondeur, comme illustré sur la figure ci-dessous [Figure 12].

³ En effet, l'entreprise est tenue de mettre à jour les plans en tenant compte des commentaires du maître d'œuvre. En principe, l'entreprise mandataire ne peut pas commencer les travaux tant que le maître d'œuvre n'a pas validé ses plans.

⁴ Nivellement Général de la France

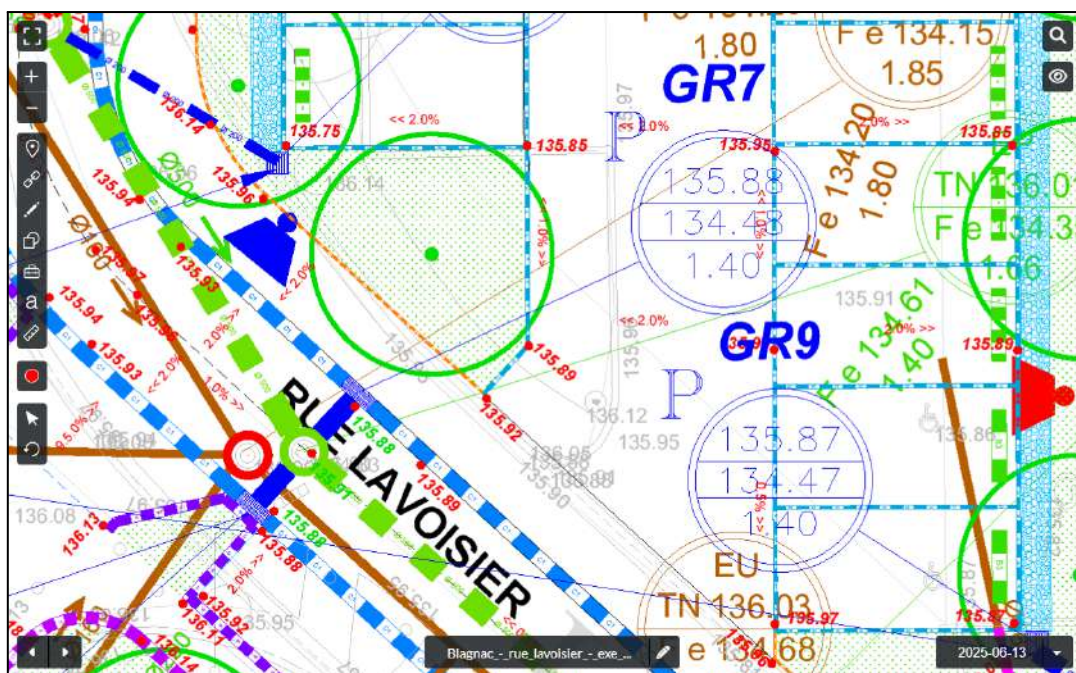
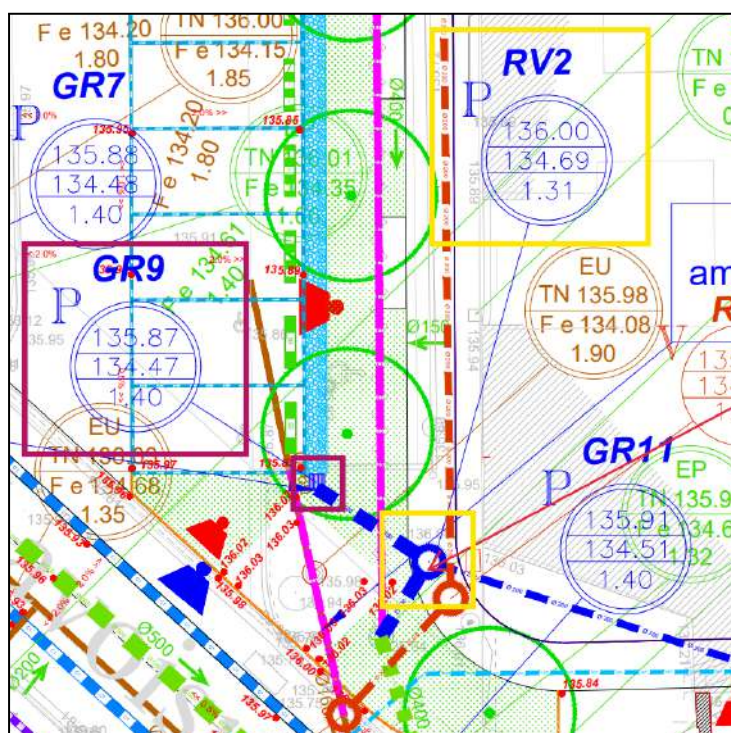


Figure 12 : Vue de l'interface FieldWire présentant les caractéristiques de la grille n°7 "GR7" : une cote TN⁵ de 135,88 m, un fil d'eau à 134,48 m, pour une profondeur de 1,40 m.

Au début, il m'a été difficile de comprendre qu'une génératrice inférieure plus élevée signifiait en réalité que le réseau était moins profond, mais avec l'expérience, cette notion est devenue acquise.



Pour illustrer concrètement ma mission sur ce point, l'exemple ci-contre met en évidence un problème de cote que j'ai su identifier [Figure 13].

Figure 13 : Contre pente entre la grille "GR9" et le regard "RV2".

Explication : le fil d'eau de la grille devrait être plus haut que celui du regard. Or, ce n'est pas le cas car la grille possède un fil d'eau à 134.47 m et la grille à 134.69 m (ces données représentent des hauteurs).

⁵ Terrain Naturel

De plus, sachant que le cahier des prescriptions techniques pour les travaux d'assainissement de Toulouse Métropole impose une pente minimale de 5 mm/m pour un réseau gravitaire [5], j'ai vérifié que le réseau respectait cette exigence. Grâce au fichier AutoCAD, il m'a été facile de récupérer la distance de la canalisation, puis, en utilisant les cotes des fils d'eau, je calculais la pente. Cette vérification n'était pas expressément demandée par mon collègue encadrant, mais disposant de temps, j'ai jugé utile et formateur d'effectuer cette manipulation. Finalement, pour le CDQ Lavoisier, aucun problème de pente n'a été détecté. Ceci m'a donc permis de mettre en application les connaissances acquises à Polytech Tours. De plus, cette manipulation pouvait me permettre de savoir si deux réseaux se croisaient.

Il est également intéressant de noter que, selon les termes du contrat, le maître d'œuvre peut être amené à analyser plus ou moins de points. Par exemple, concernant le CDQ Lavoisier, il revenait à l'architecte de vérifier le nivellement du projet, même si cette répartition des responsabilités n'est pas toujours définitive. En effet, puisque nous devons vérifier d'un point de vue technique que les eaux pluviales s'écoulaient correctement, nous avons également examiné le nivellement afin de nous assurer du bon écoulement en surface.

Enfin, j'ai également vérifié que les plans de masse fournis par l'entreprise correspondaient bien au plan transmis avec le DCE. Cette vérification portait principalement sur les revêtements de voirie. Cependant, dans le cadre de ce rapport, je trouve moins pertinent de m'y attarder, car il s'agissait surtout d'une comparaison de plans, sans faire appel à des compétences techniques approfondies.

En conclusion, ces missions réalisées dans le cadre de la phase « VISA » m'ont permis, tout comme la phase précédente, d'acquérir de nombreuses connaissances, notamment en lecture de plans de réseaux. Fort de cette (courte) expérience, je pense désormais être capable de lire beaucoup plus rapidement des plans d'assainissement.

h. Le suivi de chantier : organisation, méthodes et enjeux

Je pense sans aucun doute que le suivi de chantier a été l'aspect le plus formateur de mon stage. En effet, c'est sur le terrain que l'on apprend le plus, comme me l'a d'ailleurs confié le conducteur de travaux chargé de l'assainissement pluvial à Saouzelong :

« Moi, c'est sur chantier que j'ai appris le plus, et non pas au bureau. »

DET

Comme mentionné dans la partie précédente, lorsque j'ai débuté mon stage, les travaux sur la rue Fonsorbes ainsi que ceux liés à l'assainissement des eaux pluviales à Saouzelong étaient déjà en cours. Ce sont donc ces deux chantiers qui ont occupé une place centrale tout au long de ma mission, et c'est pourquoi je m'appuierai principalement sur eux dans cette partie.

La rédaction de compte rendu : à la recherche d'une routine optimale

Dès le début de mon stage, j'ai été intégrée au suivi de ces opérations sur le terrain. Chaque semaine, une réunion de chantier était organisée pour chacune des interventions en cours. J'étais chargée de consigner par écrit l'ensemble des échanges et décisions prises lors de ces réunions. À certains moments, je suivais deux chantiers en parallèle, ce qui représentait la rédaction de deux comptes rendus hebdomadaires.

Ces réunions m'ont permis de mettre en place une véritable routine de travail, conciliant participation active aux discussions et prise de notes efficace. Au départ, n'ayant jamais mis les pieds sur un chantier, j'étais surtout dans une posture d'observation. Cela me permettait de noter à la main

l'ensemble des échanges dans un carnet, avant de tout retranscrire, une fois de retour au bureau, dans un format officiel destiné à être diffusé aux différents intervenants.

Pour cela, je me suis appuyée sur un modèle de compte rendu existant. Ce document présentait une structure bien définie, conforme aux habitudes rédactionnelles de l'entreprise. J'ai donc dû m'approprier cette trame, en comprendre la logique, repérer les emplacements des informations clés et adopter un style cohérent avec celui de mon prédécesseur.

Dans un premier temps, mes comptes rendus étaient rédigés avec hésitation. Ne maîtrisant pas encore bien le vocabulaire technique, je m'exprimais à l'aide de phrases longues, parfois maladroites ou trop générales. Mais progressivement, au fil de l'expérience et grâce à l'acquisition des termes spécifiques au chantier, j'ai gagné en aisance. J'ai appris à rédiger de manière plus concise, à synthétiser l'information de façon claire, et à structurer mes écrits de manière logique et efficace.

Cependant, au fil du temps et grâce à l'acquisition progressive de compétences techniques, renforcées par ma présence régulière sur le chantier et mes missions connexes, j'ai pu m'impliquer davantage dans les réunions de chantier. Je me suis alors rendu compte qu'il était difficile de concilier efficacement la prise de notes sur un cahier avec une participation active sur le terrain. C'est dans ce contexte que l'on m'a proposé de tester une nouvelle méthode, que j'ai déjà évoquée précédemment: l'utilisation de la plateforme FieldWire. Cette plateforme, accessible via tablette, permet d'annoter directement les plans numériques. Il est possible d'y ajouter des points géolocalisés sur le plan, auxquels on peut associer des photos, des remarques écrites et des observations techniques prises en temps réel sur le chantier. Cette méthode s'est révélée extrêmement efficace : à notre retour au bureau, la plateforme permettait de générer automatiquement un rapport comprenant l'ensemble des points renseignés, avec les photos, les extraits de plan concernés et les notes associées. Ci-dessous, un exemple de rapport généré pour les travaux d'assainissement pluvial réalisés à Saouzelong [Figure 14].

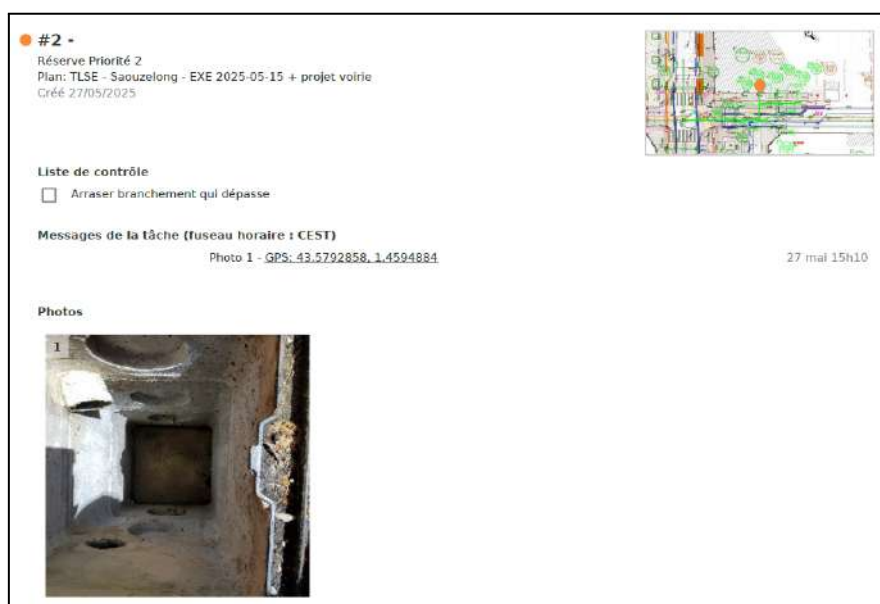


Figure 14 : Extrait du rapport généré sur FieldWire à la suite d'une réunion de chantier, faisant office de compte rendu.

Une fois au bureau, il ne me restait plus qu'à reformuler mes notes de manière plus conventionnelle et à générer le rapport final au format PDF. Un autre avantage de cette méthode est la possibilité de dessiner directement sur les photos prises sur le chantier. Cela permettait, par exemple, de clarifier

les modifications à apporter sur des éléments existants à l'aide de croquis simples, facilitant ainsi la compréhension pour les destinataires du compte rendu tout en nous faisant gagner un temps précieux.

Cependant, cette méthode présente une limite : les points d'ordre administratif, financier ou relatifs au phasage, qui doivent également figurer dans les comptes rendus, ne peuvent pas être intégrés à FieldWire de manière satisfaisante. La plateforme n'est en effet pas conçue pour gérer ce type d'informations. C'est pourquoi, à la date de rédaction de ce rapport et à la fin de mon stage, je dois toujours compléter mes comptes rendus en reprenant l'ancien modèle de fichier afin d'y consigner les éléments abordés hors site, ne relevant pas directement des travaux.

Au final, je produis donc deux documents : un rapport FieldWire dédié aux observations faites sur site, et un second fichier, rédigé manuellement, pour les aspects plus transversaux. Cela ne représente pas une perte de temps importante, puisque le gain apporté par FieldWire compense largement le temps nécessaire à la rédaction complémentaire. Néanmoins, je reste consciente qu'il serait pertinent de continuer à optimiser ce processus afin de le rendre encore plus fluide et complet à l'avenir. D'autant plus que, parmi mes collègues intervenant également sur le terrain dans le cadre de projets d'aménagement urbain, je suis actuellement la seule à utiliser cette méthode. Pour la suite, il me revient donc de réfléchir aux améliorations possibles, tant pour mon efficacité personnelle que dans une perspective de partage de bonnes pratiques au sein de l'équipe.

En conclusion, cette évolution dans ma manière de travailler, tant sur le fond que sur la forme, illustre la progression de mes compétences tout au long du stage, ainsi que ma capacité d'adaptation aux exigences du métier et aux outils internes de l'agence.

Au-delà des compétences techniques : une immersion concrète dans le milieu de la VRD

Pour rédiger des comptes rendus de manière pertinente, il est indispensable de comprendre ce qui se passe sur le chantier — non seulement sur le plan technique, mais aussi sur le plan du langage. L'un des premiers éléments qui m'a marquée à ce sujet est la particularité du vocabulaire utilisé sur le terrain. En effet, les termes employés sur chantier diffèrent souvent de ceux utilisés dans le langage courant. Par exemple, on ne parle pas de « lampadaire », mais de « candélabre », et j'ai rapidement appris à ne plus dire « plaque d'égout », mais plutôt « tampon ». J'ai ainsi rapidement dû, grâce au suivi de chantier, m'adapter au vocabulaire technique spécifique au domaine.

Au-delà de l'apprentissage de nouveaux termes techniques, la phase DET m'a permis d'observer concrètement des fournitures et des procédés que je n'avais encore jamais vus auparavant sur le terrain. Parmi ces découvertes, une opération m'a particulièrement marqué en raison des moyens mobilisés : le rabotage de la chaussée. Il s'agit d'un procédé consistant à retirer mécaniquement la

couche superficielle d'un revêtement routier, parfois jusqu'à l'ancienne couche de roulement, afin de la remplacer par un enrobé neuf. J'ai eu l'occasion d'observer ce processus lors des travaux de réfection de la rue de Fonsorbes, en vue de la pose d'un nouvel enrobé. Vous pouvez notamment voir ci-contre les photos prises ce jour-là [Figure 15].



Figure 15 : Rabotage sur la rue de Fonsorbes, à Blagnac - photos personnelles

En conclusion, ma participation à la phase DET a été, selon moi, la plus formatrice de mon stage. Elle m'a permis de mieux appréhender le rôle du maître d'œuvre, notamment dans sa fonction de coordination entre les différents acteurs du chantier. J'ai mesuré l'importance des phases de préparation, essentielles pour garantir un déroulement fluide des travaux, et compris que le rôle du maître d'œuvre varie selon les projets. Une étude bien menée en amont représente un gain de temps significatif pour l'exécution.

Au-delà des aspects techniques, le maître d'œuvre doit également gérer les volets administratifs et réglementaires du chantier. Si mon implication sur ces aspects a été limitée, notamment sur les grands projets comme Cœur de Quartier, j'ai tout de même pu en explorer certains à travers une autre mission que je vais présenter ci-après.

Vers une totale autonomie : la signalisation verticale rue de fonsorbes

Comme mentionné en introduction de ce rapport, dans le cadre de gros chantiers tels que ceux présentés, plusieurs intervenants se succèdent selon la répartition des lots du marché. Ces entreprises interviennent selon un phasage précis. Dans le cadre de mon stage, j'ai été chargé de gérer la signalisation verticale définitive sur la rue de Fonsorbes.

Avant de passer aux étapes opérationnelles, j'ai d'abord réfléchi de manière autonome à la signalisation à mettre en place sur la rue de Fonsorbes. À l'aide d'une base de données AutoCAD répertoriant la quasi-totalité des panneaux existants en France, j'ai intégré les panneaux envisagés sur un plan de la rue. Cette tâche m'a permis de mettre en pratique les compétences acquises à Polytech Tours, notamment dans l'utilisation de logiciels de DAO : j'ai dû placer les panneaux dans le calque approprié, ajuster leur échelle, les orienter correctement, et veiller à produire un plan lisible pour l'ensemble des parties prenantes. Vous trouverez en annexe ([Annexe 7](#)) le plan modifié, intégrant l'ensemble des panneaux de signalisation. Ce plan a été transmis à l'entreprise chargée de la signalisation verticale. Puis, suite à une visite sur site, nous avons validé ensemble les panneaux à installer ainsi que leur emplacement précis. Le plan présenté en annexe ([Annexe 7](#)) correspond à la version définitive. Par souci de clarté, je ne présente pas les différentes versions intermédiaires, les modifications étant mineures et peu significatives.

Par la suite, l'entreprise nous⁶ a transmis un devis. Ma mission a alors été de l'analyser et de le vérifier. N'ayant jamais eu l'occasion de traiter un devis relatif à la signalisation verticale auparavant, de nombreuses lignes me paraissaient peu compréhensibles. J'ai donc multiplié les échanges avec notre interlocuteur au sein de l'entreprise de signalisation, posant de nombreuses questions afin de clarifier chaque point. Étant seule en charge de cette opération, je tenais à ne pas valider d'éléments que je ne maîtrisais pas, et souhaitais avant tout bien comprendre le contenu du document.

Deux versions du devis ont été nécessaires. En effet, j'ai demandé une modification après avoir constaté l'oubli d'un mât dans la proposition initiale. Une fois le devis corrigé et conforme, Toulouse Métropole a pu procéder à la validation du bon de commande. Le marché concerné représente un montant d'environ 4 000 euros. À mon niveau, cela me semble déjà une expérience intéressante pour débiter, même si, pour les professionnels habitués à ce type d'opérations, cette somme reste relativement modeste.

Comme je l'ai déjà évoqué à plusieurs reprises, j'ai pu constater qu'en pratique, pour ce genre de petits marchés, certains prérequis techniques ne sont pas systématiquement exigés. Théoriquement, quelles que soient la nature et l'importance des travaux, des études préliminaires, telles que les

⁶ à Toulouse Métropole et à moi-même

Déclarations d'Intention de Commencement de Travaux (DICT)⁷, doivent être réalisées, même pour des interventions minimales. En réalité, dans le cas de travaux de faible ampleur, ces démarches peuvent être allégées, car les risques techniques restent limités. Cette approche pragmatique permet de simplifier les procédures tout en garantissant la sécurité et la conformité des interventions. Durant ma phase d'apprentissage, j'ai suivi rigoureusement la check-list des éléments à contrôler, ce qui, je l'ai rapidement compris, a parfois été perçu comme une contrainte par l'entreprise.

En conclusion, cette mission a constitué pour moi une première immersion concrète dans le rôle de maître d'œuvre. Elle m'a permis de mieux comprendre les responsabilités associées à cette fonction, au-delà des aspects purement techniques. Elle m'a également fait prendre conscience de l'importance de ne pas négliger les délais administratifs. Par exemple, pour valider le bon de commande, nous avons dû attendre du côté de Toulouse Métropole, car les commandes du mois en cours étaient déjà clôturées. Il a donc fallu patienter jusqu'à l'ouverture de la période suivante pour pouvoir passer la commande. Cela a failli compromettre la validité du devis de l'entreprise, limité à un mois. Sans une relance de ma part, nous aurions été contraints de recommencer toute la procédure. En effet, chaque interlocuteur maîtrise ses propres contraintes administratives, mais ne connaît pas nécessairement celles des autres. C'est pourquoi, selon moi, il est essentiel que le maître d'œuvre veille à ce que tous les acteurs communiquent leurs échéances et contraintes respectives dès le début du projet.

L'intervention de l'entreprise est prévue pour la fin du mois d'août, je ne serai donc pas présente pour assister à la pose effective des panneaux.

i. La réception de chantier

Une fois le chantier terminé, une réception officielle est organisée. Pour rappel, à mon arrivée chez Suez Consulting, les travaux de la rue de Fonsorbes ainsi que ceux d'assainissement pluvial à Saouzelong avaient déjà commencé. Cependant, en raison de l'état d'avancement des opérations et de la rapidité d'exécution de ces chantiers, j'ai pu être présente lors de leur réception. À ce titre, la figure 6, présentée au début de cette partie, a été prise le jour de la réception du chantier de réaménagement de la rue de Fonsorbes.

AOR

Le processus de réception s'appuie sur un mode opératoire précis. Lors de l'une des dernières réunions hebdomadaires de suivi de chantier, une liste de réserves est établie. Étant donné que les travaux sont quasiment achevés, cette réunion permet d'identifier les éléments restant à corriger ou à finaliser avant de valider officiellement la réception du chantier.

Mon rôle, à ce stade, a été similaire à celui que j'assumais pour les comptes rendus : retranscrire de manière officielle les réserves identifiées sur site, en utilisant l'outil FieldWire. La méthode employée était donc la même que celle utilisée pour mes derniers comptes rendus. Lorsqu'un point de réserve était observé, je me repérais sur le plan et y ajoutais un marqueur à l'emplacement concerné. La synchronisation automatique entre la tablette utilisée sur le chantier et l'ordinateur au bureau me permettait ensuite de générer facilement un rapport au format PDF, que je pouvais transmettre aux intervenants concernés.

⁷ Il s'agit d'une mesure obligatoire prévue par le droit français, à réaliser avant l'exécution de tout travaux à proximité de réseaux, afin d'identifier précisément leur emplacement avant tout terrassement.

Généralement, un constat d'huissier permet d'officialiser la réception des travaux. Lors de cette étape, l'entreprise mandataire est tenue de remettre au maître d'ouvrage un Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE). Ce dossier contient l'ensemble des documents techniques nécessaires pour assurer un futur suivi ou une éventuelle intervention sur le périmètre concerné.

Parmi les pièces essentielles de ce dossier figure le plan de récolement, qui détaille précisément les travaux réalisés sur le terrain. À titre d'illustration du travail accompli, j'ai eu l'occasion de consulter le plan de récolement relatif aux travaux d'assainissement pluvial réalisés à Saouzelong. Cette analyse m'a permis de mobiliser plusieurs compétences techniques. D'une part, j'ai vérifié que les pentes des ouvrages hydrauliques étaient conformes, en appliquant la même méthode que celle utilisée lors de la phase VISA. D'autre part, j'ai comparé les émergences visibles sur le plan de récolement (comme les tampons) avec le plan projet global du Cœur de Quartier pour m'assurer qu'aucun conflit d'implantation ne compromettrait la cohérence du projet. Pour ce faire, j'ai utilisé AutoCAD, ce qui m'a permis de superposer avec précision les deux plans et de valider le plan de récolement.

À noter : si une émergence (par exemple un tampon) ne correspondait pas au plan projet du CDQ, le plan de récolement aurait été refusé. L'entreprise aurait alors dû repositionner l'élément concerné avant la réception officielle du chantier.

Ce travail m'a ainsi permis de mettre en pratique, encore une fois, plusieurs compétences acquises au sein de ma formation à Polytech Tours telle que l'utilisation d' AutoCAD et d'approfondir mes capacités en lecture de plan.

En conclusion, comme vous avez pu le constater, dans le cadre des principaux projets auxquels j'ai participé durant mon stage, j'ai été mobilisé sur toute la seconde moitié du cycle de vie d'un projet [Figure 2]. Cependant, au-delà de ces missions plus classiques de maîtrise d'oeuvre, j'ai également pris part à un travail en lien avec une démarche d'innovation : l'élaboration d'un protocole de suivi du système Permavoid, mis en œuvre dans le cadre du projet de Cœur de Quartier de Saouzelong.

4. Rédaction du protocole de suivi du système Permavoid

a. Le système permavoid dans le coeur de quartier de Saouzelong

Une des innovations majeures mises en œuvre dans le cœur de quartier de Saouzelong concerne la gestion alternative des eaux pluviales, grâce à l'utilisation de matelas alvéolaires appelés "Permavoid".

Ce système permet de récupérer l'eau de pluie pour ensuite irriguer la végétation locale, de manière autonome et sans consommation d'énergie. Le principe repose sur une structure creuse composée de modules légers, installés sous les revêtements ou les zones végétalisées. Ces modules stockent l'eau et la rendent directement disponible pour les plantes. Un mécanisme de remontée capillaire, assuré par des fibres intégrées dans les modules, permet à l'eau d'être absorbée naturellement par les racines. Ce fonctionnement, inspiré de la nature, évite les systèmes d'arrosage traditionnels (goutte-à-goutte, pompes, tuyaux...), réduisant ainsi les besoins en maintenance.

En plus de ses qualités hydrauliques, le système Permavoid joue également un rôle structurel. Sa conception en "sandwich" offre une fondation stable, perméable et résistante, qui répartit les charges de manière homogène tout en protégeant le sol enracinable du compactage. Ci-dessous, une représentation schématique du système Permavoid [Figure 16].

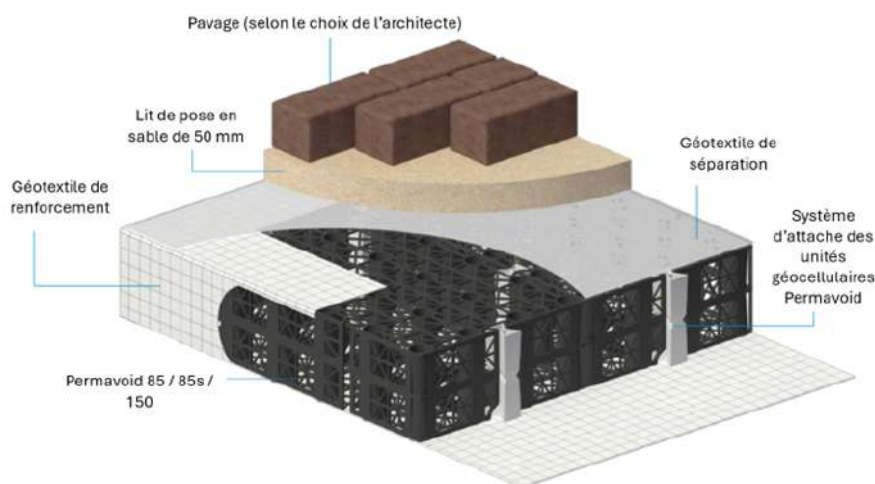


Figure 16 : Représentation schématique de la conception en "sandwich" du Permavoid - Figure issue du rapport AVP⁸ du coeur du CDQ Saouzelong

Dans le cadre de du projet présenté, trois variantes de Permavoid seront déployées, chacune adaptée aux contraintes locales :

- **Permavoid 85** : Installé sous les trottoirs et une partie piétonne de la place du métro, ce module peu profond est idéal pour les zones non circulées. Sa structure légère assure à la fois un soutien structurel et une gestion efficace des eaux pluviales [6].
- **Permavoid 150** : Placé sous un trottoir accessible aux véhicules d'entretien, ce modèle plus profond offre une résistance accrue et une meilleure répartition des charges. Il convient aux zones à circulation occasionnelle tout en assurant le stockage des eaux pluviales [7].
- **Permavoid 85S** : Utilisé sous les massifs végétalisés, ce modèle favorise la croissance des plantes grâce à ses propriétés drainantes et sa capacité à stocker et redistribuer l'eau, le rendant idéal pour les aménagements paysagers [8].

La spatialisation des différents Permavoid est illustrée sur le plan en annexe ([Annexe 8](#)).

Cette solution de gestion alternative des eaux pluviales est qualifiée d'innovation, car elle reste peu connue du grand public. Bien qu'elle ait déjà fait ses preuves aux Pays-Bas, son utilisation en France est encore expérimentale. Ainsi, en raison de ce caractère innovant, ma mission a consisté à mettre en place un protocole de suivi afin d'évaluer concrètement l'efficacité du système Permavoid dans le contexte spécifique du cœur de quartier de Saouzelong, à Toulouse.

b. Elaboration du protocole de suivi

Afin de suivre l'efficacité de chaque installation, nous avons décidé d'utiliser un arbre témoin comme référence, permettant d'analyser et de comparer les évolutions. Cette démarche vise à identifier, dans notre contexte :

- Le système Permavoid apporte-t-il une réelle plus-value à la végétation locale ?
- Le modèle de Permavoid offrant les meilleures performances
- Les espèces végétales les mieux adaptées à ce dispositif

⁸ AVP = AVant Projet [Figure 2]

Ainsi, l'un des principaux leviers du protocole de suivi repose sur la comparaison, selon divers critères visuels ou physico-chimiques, entre les arbres équipés du système Permavoid et ceux qui ne le sont pas.

Pour cette mission, mon travail s'est articulé autour de trois grandes phases :

1. L'identification des différentes essences d'arbres à comparer entre elles, afin d'évaluer les effets potentiels du système Permavoid sur leur développement.
2. L'analyse des facteurs liés au terrain pouvant influencer l'efficacité du système
3. Un état de l'art sur les méthodes de suivi existantes, afin de déterminer s'il est possible de mesurer concrètement la présence et l'impact de l'eau dans le sol. En effet, nous partons du postulat que l'apport en eau a un effet significatif sur la santé des arbres.

L'objectif de ce travail est également de préparer une estimation budgétaire pour la mise en place d'un protocole de suivi adapté au système Permavoid.

Ainsi, dans un premier temps, mon travail a consisté à recenser toutes les essences végétales présentes, ou appelées à l'être, dans le cœur de quartier de Saouzelong. Pour cela, je me suis appuyée sur un plan AutoCAD issu du DCE, qui répertoriait l'ensemble des informations nécessaires. Dans la première partie de mon protocole, j'ai donc identifié tous les arbres à comparer en lien avec le dispositif Permavoid. J'ai mis en évidence les végétaux concernés à l'aide d'un code couleur, afin de faciliter leur repérage. Par exemple, sur la figure ci-dessous [Figure 17], on voit l'identification des arbres pour étudier l'efficacité du Permavoid 85S sur l'arbre de neige (*Chionanthus retusus*).

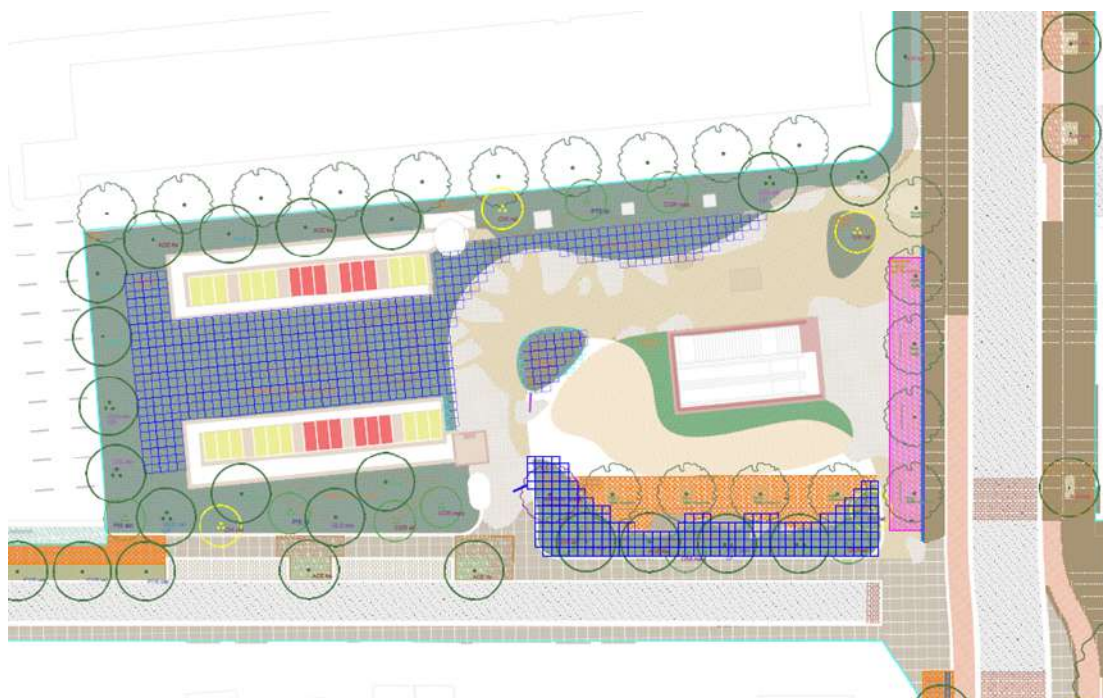


Figure 17 : Spatialisation des *Chionanthus retusus* à comparer entre eux (en jaune) - Plan issue du DCE du CDQ Saouzelong

J'ai appliqué cette méthode à chaque essence d'arbre présente dans le projet. Concrètement, cette première étape était facile mais elle a été assez fastidieuse car pour chaque comparaison d'arbres, je devais générer une présentation du plan (environ 10 plans au total).

Dans une logique de rédaction de protocole, j'ai estimé qu'un plan de synthèse serait pertinent. En effet, me rendant régulièrement sur le chantier et manipulant les plans sur le terrain, il m'a semblé

plus pratique de regrouper toutes les informations sur un seul document, plutôt que de consulter les comparaisons une à une. Ce plan permet ainsi, dans une perspective à long terme, de visualiser et de comparer directement l'ensemble des arbres suivis. Toutes les données ont donc été réunies sur un unique plan de synthèse, présenté de manière claire.

Pour la deuxième partie de mon protocole, j'ai dû identifier les facteurs intrinsèques au système Permavoid, c'est-à-dire ceux influençant son alimentation en eau. Je me suis donc concentrée sur deux éléments essentiels : la topographie et les méthodes de collecte des Permavoid. J'ai fait le choix de ne pas détailler cette étape dans le corps du rapport, car elle s'est limitée à la lecture de documents et de plans, sans réelle dimension méthodologique. Par ailleurs, dans le cadre d'un rapport de stage d'ingénierie, une démarche strictement descriptive n'est pas la plus pertinente. L'ensemble des informations techniques est néanmoins présenté dans le protocole en annexe ([Annexe 9](#)).

Il me semble plus judicieux de m'attarder davantage sur la dernière partie du protocole : l'état de l'art.

Comme mentionné précédemment, le caractère innovant de cette méthode de gestion des eaux pluviales, appliquée au site spécifique du cœur de quartier de Saouzelong, implique qu'il n'existe à ce jour aucun résultat concret sur son efficacité réelle dans ce contexte géographique.

Je me suis donc, dans un premier temps, interrogée sur la manière d'évaluer l'état de santé d'un arbre en milieu urbain. Pour répondre à cette question, j'ai réalisé un état de l'art des facteurs physiques permettant d'analyser la vitalité d'un arbre. Le détail de mon raisonnement et de mes choix méthodologiques est présenté dans le protocole en annexe ([Annexe 9](#)). J'ai fait le choix de synthétiser les informations recueillies sous forme de tableau, organisé par partie de l'arbre (couronne, tronc), afin de faciliter leur lecture et leur application future sur le terrain. Dans un second temps, je me suis intéressée aux expérimentations et recherches menées sur le système Permavoid lui-même. Cette démarche m'a permis de découvrir l'existence de capteurs permettant de mesurer la présence d'eau dans le système ainsi que de sondes pour analyser l'humidité du sol environnant ([Annexe 9](#)). Ces éléments sont essentiels pour envisager un suivi scientifique rigoureux de l'efficacité du dispositif.

L'élaboration de ce protocole s'est faite en autonomie, sans consigne formelle, mais avec quelques pistes à explorer. Cela m'a demandé de structurer ma pensée, de sélectionner les informations pertinentes et de les retranscrire de manière claire et organisée. Ce travail a représenté une réelle plus-value, tant pour le projet que pour ma montée en compétence.

Le choix de réaliser un état de l'art s'est imposé naturellement, car je maîtrisais déjà cette méthode, l'ayant appliquée lors de mon projet de fin d'études l'année précédente. Cette expérience antérieure m'a permis de gagner un temps précieux et d'aborder la tâche avec efficacité.

Enfin, ce travail réalisé en début de stage m'a permis de me plonger pleinement dans le contexte du projet du Cœur de Quartier de Saouzelong et d'en comprendre les enjeux techniques dès les premières semaines. Il a ainsi constitué une première étape structurante dans ma participation au projet.

Mon travail a ainsi permis à l'entreprise d'obtenir un premier éclairage sur la manière de suivre l'efficacité du système Permavoid, ainsi qu'une estimation préliminaire des besoins matériels et budgétaires. À la fin de mon stage, les modalités concrètes de ce suivi restent encore à définir (quels équipements seront réellement installés, qui en assurera le financement), d'autant que le projet est encore en phase de préparation de chantier, et que le suivi du système en représente l'ultime étape.

5. Autonomie consolidée : prise en main de projets à long terme

Cette dernière partie met en lumière d'autres missions qui m'ont été confiées en fin de stage. Bien que plus courtes et moins détaillées que les précédentes, elles ont représenté une nouvelle opportunité de montée en compétences et d'autonomisation. Ces expériences, bien que brèves, m'ont permis de renforcer mes acquis et de me confronter à de nouvelles responsabilités. Par ailleurs, les projets présentés ici sont ceux sur lesquels je poursuivrai mon travail à partir de septembre, dans la continuité de cette dynamique d'apprentissage.

a. Le lac de Noubals, Mijanès (09460)

Cette première mission concerne une retenue d'eau située sur un barrage en Ariège : le lac de Noubals. L'objectif du projet était de revitaliser le territoire en aménageant de nouveaux équipements touristiques autour du lac.

Dans le cadre de la phase d'élaboration du projet, je suis intervenue sur une tâche spécifique : l'implantation d'un platelage au-dessus d'une zone humide. Le lac, utilisé comme retenue pour l'irrigation de parcelles agricoles en aval, voit son niveau d'eau varier au cours de l'année. Une incertitude subsistait entre le niveau réel et théorique maximal du lac, ce qui impactait directement la conception du platelage, prévu en bordure du plan d'eau.

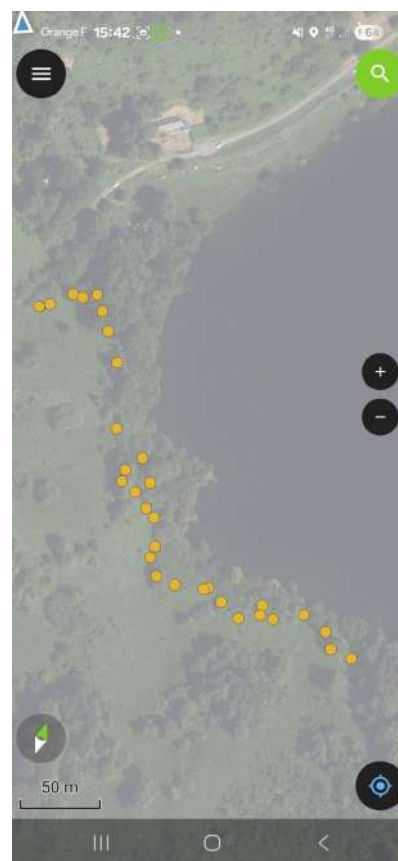
Ma mission consistait à implanter le platelage directement sur site, à une période où le niveau du lac était censé être au plus haut. Pour ce faire, j'ai utilisé le logiciel SIG QGIS, ainsi que son extension mobile QField, qui permet d'exploiter les projets QGIS sur tablette ou smartphone, et donc de travailler en situation réelle sur le terrain.

Ainsi, mon travail s'est articulé en trois phases. La première s'est déroulée en amont de la sortie sur site, au bureau, où j'ai préparé le projet à utiliser sur le terrain. J'ai notamment importé une vue aérienne de la zone concernée et créé une couche "platelage" (volontairement vide, car destinée à être complétée sur site). J'ai également généré une couche "niveau d'eau" afin de relever les hauteurs observées lors de la période censée correspondre au niveau le plus élevé du lac, dans le but de vérifier la fiabilité des données théoriques.

La deuxième phase s'est déroulée sur site, où j'ai utilisé l'application mobile QField pour insérer les points géolocalisés du platelage. Ci-contre une capture de l'interface QField réalisée à l'issue de la réunion de terrain [Figure 18].

Figure 18 : Implantation du platelage (points jaunes) autour du lac grâce à QField - capture d'écran depuis mon smartphone professionnel

Enfin, une fois de retour au bureau, j'ai transféré les données collectées via QField dans QGIS, ce qui m'a permis d'obtenir une version consolidée du projet [Figure 19].



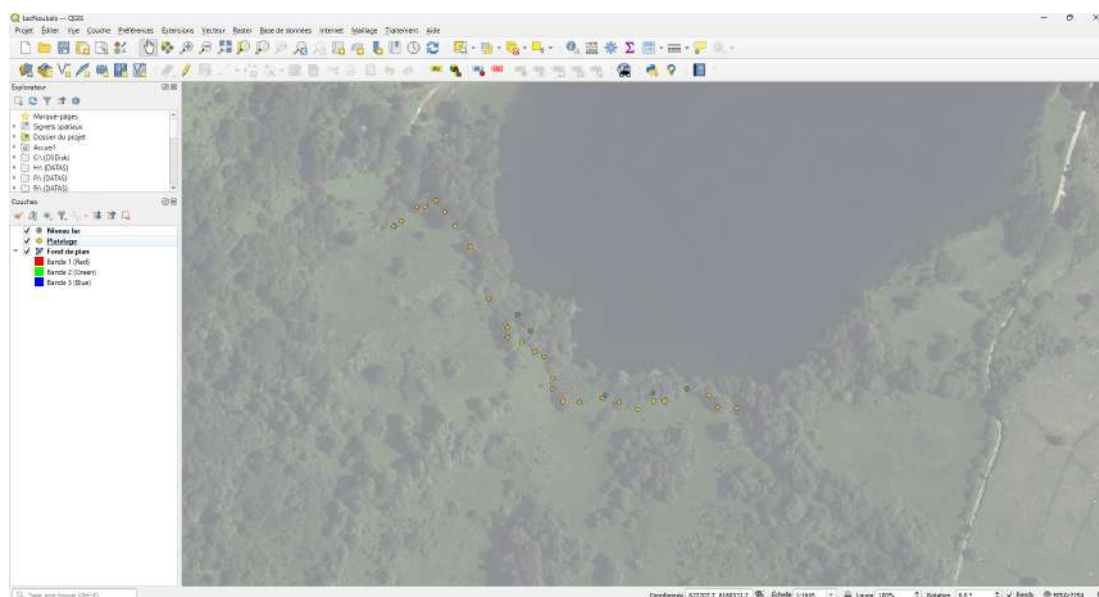


Figure 19 : Capture d'écran de mon projet sur QGIS montrant l'implantation du platelage (points jaunes) et les niveaux d'eau (points verts).

Ce fichier QGIS a ensuite été converti en format AutoCAD afin que mes collègues puissent s'appuyer dessus pour travailler sur les plans.

Ce travail m'a permis de mobiliser les compétences en SIG acquises à Polytech Tours, tout en découvrant l'application QField, que je n'avais encore jamais utilisée. Si je devais faire une auto-critique, je dirais que la préparation des données en amont de la sortie terrain aurait pu être plus rigoureuse. En effet, découvrant l'outil et n'étant pas certaine des conditions sur place (accès à Internet, praticabilité en zone humide), j'ai minimisé l'effort de structuration des couches. Or, une fois de retour au bureau, j'ai dû procéder à un travail de réorganisation des données : créer une nouvelle couche pour organiser mon travail, repositionner les points dans la bonne couche, etc. J'en retiens donc, entre autres, qu'une bonne préparation en amont permet d'optimiser son temps de travail par la suite. Cette réflexion fait écho à celle mentionnée dans la partie précédente : une bonne étude de projet permet d'optimiser son temps de travail une fois le chantier démarré.

b. La rue Arago, Toulouse (31500)

PRO

La dernière mission à laquelle j'ai participé concerne le réaménagement de la rue Arago, située en plein cœur de Toulouse. Ce projet, bien que similaire dans sa nature aux autres opérations traitées dans ce rapport, se distingue par le fait qu'il ne s'inscrit pas dans le programme "Cœur de Quartier". Comme pour le projet du lac de Noubals, mon intervention s'est concentrée sur la phase de préparation, et plus précisément ici sur la phase PRO [Figure 2]. Mon rôle principal a été l'élaboration du DQE, un document dont le fonctionnement a déjà été présenté dans les sections précédentes.

Ce projet étant mené sous la forme d'un marché à bon de commande, l'entreprise mandataire est donc déjà désignée. Dans ce type de contrat, Toulouse Métropole dispose d'un BPU standardisé, regroupant les fournitures et prestations courantes pour les projets de réaménagement urbain, assorties de prix unitaires prédéfinis.

L'objectif de ma mission a été d'analyser les plans du projet pour identifier les fournitures et prestations nécessaires, puis d'en estimer les quantités à intégrer dans le DQE⁹ afin d'obtenir une évaluation financière prévisionnelle du chantier.

Parmi les différentes missions réalisées durant mon stage, celle-ci s'est révélée être la plus exigeante sur le plan technique. En effet, elle m'a plongée au cœur des spécificités d'un chantier urbain, avec un fort enjeu de compréhension et d'application des normes en vigueur au sein de Toulouse Métropole, notamment celles relatives à la conception des structures de chaussée.

Plutôt que d'entrer dans le détail de l'ensemble des termes techniques présents dans le BPU, il semble plus pertinent d'illustrer ma démarche par un exemple concret, révélateur à la fois de mon implication et de la posture que l'on attend d'une future ingénieure.

Prenons le cas du dimensionnement de la chaussée circulée dans le cadre du projet de la rue Arago. J'ai notamment été amenée à comprendre les exigences spécifiques imposées par Toulouse Métropole. Pour ce projet, qui comprend une voie circulée principalement par des véhicules légers, une couche de Béton Bitumineux Semi-Grenu (BBSG) de 6 cm d'épaisseur est requise au minimum, afin de garantir les performances mécaniques attendues. L'altimétrie restante (entre l'existant et le projet) est ensuite complétée par une couche de forme en GNT (Grave Non Traitée).

Ma tâche a donc consisté à analyser les plans topographiques de l'existant et du projet, afin de dimensionner l'apport de GNT nécessaire ainsi que le décroutage minimal de la chaussée existante pour satisfaire les exigences mentionnées ci-dessus. Cela supposait de repérer les points altimétriques clés sur les deux plans, de calculer la hauteur de GNT à mettre en œuvre pour compléter les 6 cm de BBSG, tout en intégrant un décroutage minimal de 6 cm. Ce premier calcul est visible dans les colonnes intitulées "sans prise en compte d'épaisseur minimale de GNT" sur la figure ci-dessous [Figure 20]. Il a mis en évidence que, dans certaines zones, aucun apport de GNT n'était nécessaire.

Epaisseur du BBSG (m)	Décroutage de la chaussée (en m)	Apport minimal de GNT (en m)	Epaisseur béton désactivé sous chaussée (m)	Epaisseur béton balayé sous trottoirs (m)
0,06	0,06	0,2	0,28	0,12

CALCUL DEMOLITION CHAUSSEE BBSG PROJET

Alt à l'existant	Alt PRO	Alt après 6 cm de décroutage et 6 cm de BBSG	Sans prise condition d'épaisseur de GNT		Condition de remblais de 20 cm min de GNT	
			Décroutage nécessaire (en m) Equilibre 6 cm de BBSG + décroutage minimal de 6 cm	Epaisseur de GNT nécessaire (en m)	Comme on veut 20cm min de GNT -> décroutage en plus	Décroutage total (en m)
148,88	148,84	148,88	0,1	0	0,2	0,3
148,04	148,02	148,04	0,08	0	0,2	0,28
147,72	147,83	147,72	0,06	0,11	0,09	0,15
146,4	146,63	146,4	0,06	0,23	0	0,06
146,58	146,71	146,58	0,06	0,13	0,07	0,13
146,57	146,63	146,57	0,06	0,06	0,14	0,2
148,04	148,02	148,04	0,08	0	0,2	0,28

Démolition de chaussée (en m3)		
Surface chaussée existante avec BBSG projet (en m²) cf PLAN TOPO	moyenne des épaisseurs (en m)	Démoi (en m3)
390,38	0,20	79,3

CALCUL DEMOLITION CHAUSSEE BETON DESACTIVE PROJET

Alt à l'existant	Alt PRO	Alt après 6 cm de décroutage et 18 cm de Béton désactivé	Sans prise condition d'épaisseur de GNT		Condition de remblais de 20 cm min de GNT	
			Décroutage nécessaire (en m) Equilibre 6 cm de BBSG + décroutage minimal de 6 cm	Epaisseur de GNT nécessaire (en m)	Comme on veut 20cm min de GNT -> décroutage en plus	Décroutage total (en m)
149,2	149,38	149,32	0,06	0,06	0,14	0,2
149,48	149,28	149,6	0,38	0	0,2	0,38
150,18	150,11	150,3	0,25	0	0,2	0,45
150,06	150,17	150,18	0,07	0	0,2	0,27
149,3	149,35	149,42	0,13	0	0,2	0,33

Démolition de chaussée (en m3)		
Surface chaussée existante Béton balayé projet (en m²) cf PLAN TOPO	moyenne des épaisseurs (en m)	Démoi (en m3)
240	0,37	87,8

Figure 20 : Extrait du fichier Excel que j'ai élaboré pour le dimensionnement de la chaussée du projet de la rue Arago à Toulouse.

⁹ Pour rappel, le DQE reprend les éléments du BPU, auxquels sont ajoutées les quantités estimées pour chaque poste.

Toutefois, pour des raisons de stabilité, d'homogénéité de mise en œuvre et d'optimisation des terrassements, il est préférable de prévoir une épaisseur minimale de 20 cm de GNT, même si cela nécessite un décaissage plus important de la chaussée existante. J'ai donc recalculé les épaisseurs de décaissement nécessaires pour atteindre cet objectif, en garantissant un minimum de 20 cm de GNT sous les 6 cm de BBSG – résultats visibles dans les colonnes "condition de remblai de 20 cm minimum de GNT" [Figure 20]. Étant en phase d'estimation, le dimensionnement des différents éléments se base sur une moyenne des différents dimensionnements aux points considérés du plan [Figure 20].

Cette méthode a ensuite été adaptée à d'autres types de revêtements présents dans le projet, avec prise en compte de leurs caractéristiques structurelles spécifiques et des épaisseurs correspondantes.

Cet exercice m'a permis d'approfondir non seulement mes connaissances techniques, mais également mes compétences en lecture de plans. Par ailleurs, à ma connaissance, un fichier Excel tel que celui que j'ai conçu n'avait encore jamais été réalisé par mes collègues. J'ai donc veillé à ce qu'il soit réutilisable pour de futurs projets, en y intégrant les conditions initiales essentielles telles que l'épaisseur minimale de BBSG, le décaissage minimal souhaité, ou encore l'apport minimal de GNT à respecter [Figure 20]. À terme, cet outil pourra être utilisé pour automatiser l'estimation des quantités à partir des plans, de manière plus précise et rapide. Ce travail s'inscrit pleinement, selon moi, dans une démarche d'ingénieur.

Enfin, cette mission a particulièrement fait écho à ma formation à Polytech Tours. En amont, par exemple, nous avons dû réfléchir à l'intégration esthétique d'un caniveau à grille tout en prenant en compte les contraintes techniques liées à l'évacuation des eaux pluviales — un équilibre entre fonction et conception que j'ai souvent rencontré dans mon cursus.

6. Conclusion

En conclusion, ce stage a été très enrichissant en tous points. Le titre officiel de mon stage était : "Stage en maîtrise d'œuvre en aménagement urbain". Tout au long de mon stage, une question fondamentale s'est imposée à moi : *qu'est-ce que la maîtrise d'œuvre ?* En effectuant quelques recherches, on trouve des définitions comme celle-ci :

« La maîtrise d'œuvre (MOE) désigne l'ensemble des missions et responsabilités exercées pour le compte du maître d'ouvrage (MOA) dans la conception et la réalisation d'un ouvrage. Elle peut être assurée par une personne physique ou morale (architecte, bureau d'études, entreprise spécialisée) chargée de piloter et de coordonner le projet. » [9]

Cependant, au fil de mon stage, j'ai compris que cette définition, bien qu'exacte, ne suffit pas à saisir toute la complexité et la richesse du rôle de maître d'œuvre. Avec le recul de cette expérience, je définirais aujourd'hui la maîtrise d'œuvre comme la colonne vertébrale d'un projet : un acteur central, capable d'intervenir à différentes phases, de la conception jusqu'à la livraison de l'ouvrage. La nature et l'étendue de l'intervention du maître d'œuvre dépendent ainsi des besoins exprimés par le maître d'ouvrage. C'est ce dernier qui définit les missions à confier, que ce soit pour une phase précise du projet ou pour l'ensemble de son cycle de vie, de la conception à la livraison.

Tout au long de cette période en entreprise, j'ai été amenée à intervenir sur différents projets, de différentes natures. Ainsi, la diversité des tâches qui m'ont été confiées a été réelle, tant par leur nature technique et formelle que par leur contexte organisationnel : elles concernaient des projets

variés, pilotés par des chefs de projet différents, ce qui m'a amené à collaborer avec une large palette de profils au sein de l'équipe.

Au cours de ce stage, j'ai constaté une progression constante de mon autonomie, illustrée notamment par la prise en charge en autonomie de la signalisation verticale de la rue de Fonsorbes, comme détaillé dans ce rapport. J'ai également été amenée à assister seule à des réunions de suivi de chantier, notamment pour le projet Cœur de Quartier de Lavoisier, où j'ai dû animer la réunion, prendre des notes et observer simultanément, ce qui témoigne de la confiance accordée par mes collègues.

Par ailleurs, la proposition d'un contrat à durée indéterminée de la part de SUEZ Consulting, proposition que j'ai acceptée, confirme selon moi la qualité et l'implication dont j'ai fait preuve durant cette période. Dès septembre 2025, je reprendrai donc les projets entamés durant mon stage, à savoir la finalisation des travaux du cœur de quartier de Lavoisier, le suivi du chantier du lac de Noubals ainsi que les phases VISA et DET pour la rue Arago.

J'ai également participé ponctuellement à d'autres missions en phase ACT et DET pour soutenir mes collègues, qui, pour des raisons de synthèse, n'ont pas été détaillées dans ce rapport.

À l'issue de ce stage, je ne me suis plus sentie comme une simple stagiaire, mais comme une future collaboratrice pleinement intégrée.

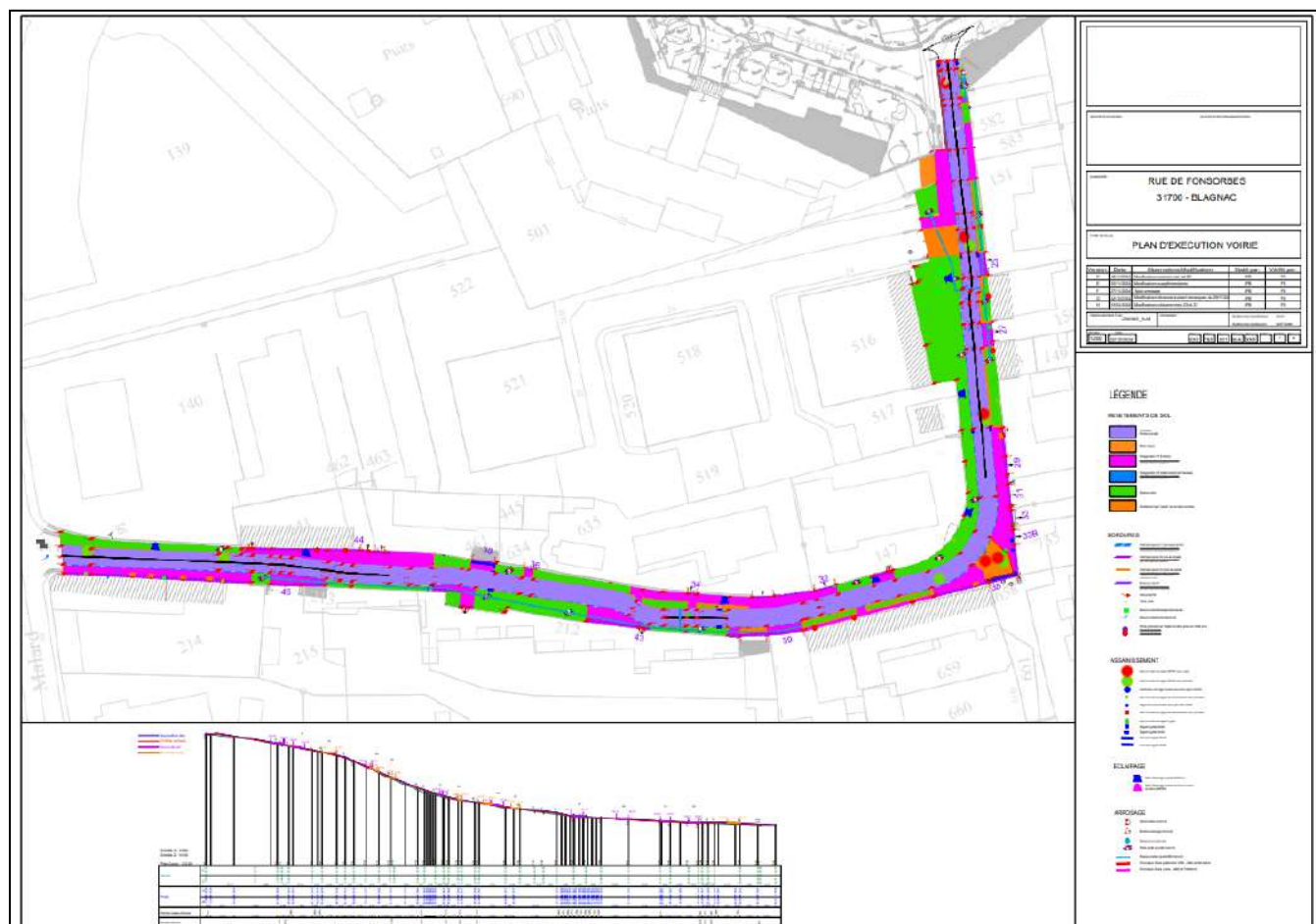
Je laisse donc mes projets en cours, que je reprendrai dès la rentrée, avec la volonté de poursuivre mon engagement et mon apprentissage.

7. Bibliographie

- [1] Société, S. (2019, 4 mars). *Différence entre accord-cadre et marché à bon de commande - Achats - Fiches-Pratiques.Decision-Achats.fr*, [en ligne]. Disponible sur <https://fiches-pratiques.decision-achats.fr/Thematique/achats-1181/FichePratique/Difference-entre-accord-cadre-marche-bon-commande-337226.htm#:~:text=La%20notion%20d'accord%2Dcadre,march%C3%A9s%20%C3%A0%20bons%20de%20commande.>> (20/06/2025)
- [2] Venier, M. (2025, 19 juin). *À Toulouse, la proximité au cœur des quartiers*. [en ligne]. Disponible sur https://lopinion.com/articles/politique/28939_toulouse-proximite-coeur-quartiers (20/06/2025)
- [3] Delbès, G., & Massard, F. (2022, 21 janvier). Toulouse : quartier Saouzelong. *Ici*. [en ligne]. Disponible sur <https://www.radiofrance.fr/francebleu/podcasts/les-mots-d-oc-de-france-bleu-occitanie/toulouse-quartier-saouzelong-2576471> (14/04/2025)
- [4] Frederic Makowski, Consultant, Formateur marchés publics informatique. (s. d.). *Acte d'engagement ATTR11 Formulaire marché public - définition*. [en ligne]. Disponible sur <https://www.marche-public.fr/Marches-publics/Definitions/Entrees/Acte-engagement.htm#:~:text=L'acte%20d'engagement%20est.offre%20de%20l'op%C3%A9rateur%20%C3%A9conomique.>> (11/07/2025)
- [5] *Prescriptions techniques*. (s. d.). Eau de Toulouse Métropole. [en ligne]. Disponible sur <https://www.eaudetoulousemetropole.fr/service-public/publications/prescriptions-techniques> (15/03/2025)
- [6] *Permavoid Subbase systems - Permavoid 85*. (s. d.). [en ligne]. Disponible sur <https://www.permavoid.com/product/permavoid-85> (21/04/2025)
- [7] *Permavoid Subbase systems - Permavoid 150*. (s. d.). [en ligne]. Disponible sur <https://www.permavoid.com/product/permavoid-150> (21/04/2025)
- [8] *Permavoid Subbase systems - Permavoid 85s*. (s. d.). [en ligne]. Disponible sur <https://www.permavoid.com/product/permavoid-85s> (21/04/2025)
- [9] Université de Tours. (s. d.). *Les stages à l'université*. Université de Tours. [en ligne]. Disponible sur https://www.univ-tours.fr/formations/les-stages-a-luniversite?ID_FICHE=73554&INLINE=FALSE (04/04/2025)

8. Annexes

Annexe 1 : Plan du projet de réaménagement de la rue de Fonsorbes à Blagnac



Cette annexe n'a pas pour objectif de présenter en détail le projet de voirie, mais plutôt d'offrir une vue d'ensemble des aménagements réalisés sur la rue de Fonsorbes. Chaque couleur correspond à un type de revêtement spécifique, le vert représentant les espaces verts.

[Retour texte](#)

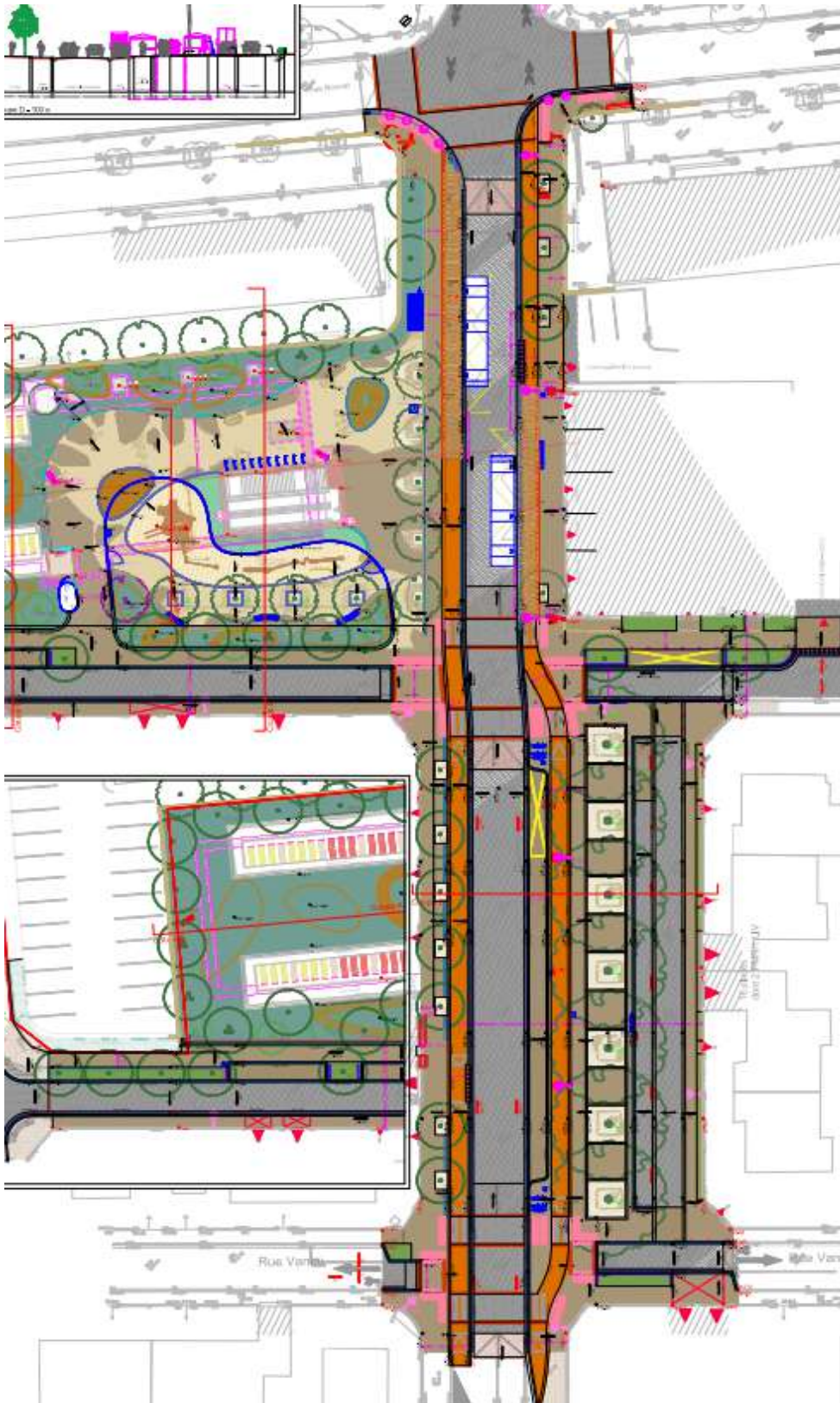
Annexe 2 : Plan du projet de réaménagement du coeur de quartier de Lavoisier à Blagnac



Cette annexe n'a pas pour objectif de présenter en détail le projet de voirie, mais plutôt d'offrir une vue d'ensemble des aménagements réalisés dans le CDQ Lavoisier. Chaque couleur correspond à un type de revêtement spécifique, le vert représentant les espaces verts.

[Retour texte](#)

Annexe 3 : Plan de masse du projet de réaménagement du coeur de quartier de Saouzelong à Toulouse



Cette annexe n'a pas pour objectif de présenter en détail le projet de voirie, mais plutôt d'offrir une vue d'ensemble des aménagements réalisés dans le CDQ Saouzelong.

[Retour texte](#)

Annexe 4 : Plan des travaux d'assainissement pluvial de Saouzelong à Toulouse



Cette annexe n'a pas pour objectif de présenter en détail le projet, mais plutôt d'offrir une vue d'ensemble des travaux d'assainissement pluvial à Saouzelong. En vert sur le plan figure le réseau d'eau pluviale installé par l'entreprise mandataire.

[Retour texte](#)

Annexe 5 : Tableau permettant l'analyse financière des offres

Aménagement du coeur de quartier de Saucuzelong

Analyse Financière après négociations finales

Designation	Unité	PU estimation MoE	DOE	Sous-Total	
100 PRESTATIONS GENERALES					
101	Installation de chantier	lt	95 000,00 €	1,00	95 000,00 €
102	Cultes d'entretien	lt	20 000,00 €	1,00	20 000,00 €
103	Plan d'Assurance Qualité (PAQ) et contrôles	lt	4 000,00 €	1,00	4 000,00 €
104	Signalisation et aménagements provisoires de travaux	lt	25 000,00 €	1,00	25 000,00 €
105	Implantation des ouvrages - piquetage général - Marquage piquetage réseaux	lt	2 000,00 €	1,00	2 000,00 €
106	Dossier des ouvrages exécutés	lt	2 500,00 €	1,00	2 500,00 €
Sous-total Prestations générales				148 900,00 €	
200 TRAVAUX PREPARATOIRES					
201	Libération d'emprise (poteries, corbelles, barrières, panneaux, etc.)	lt	4 800,00 €	1,00	4 800,00 €
202	Protection des arbres existants	u	425,00 €	20,00	8 500,00 €
203	Démolition de bornes et carreaux (p. tour d'arbre)	mi	11,00 €	1548,00	16 128,00 €
204	Démolition de bornes et carreaux sur dalle métro	mi	15,00 €	36,00	540,00 €
205	Démolition structures voiles	m²	11,00 €	3160,00	34 760,00 €
206	Décrochage des revêtements de trottoirs	m²	9,00 €	1800,00	16 200,00 €
207	Démolition revêtement enrobé et carreau sur dalle métro	m²	14,00 €	1770,00	24 780,00 €
208	Découpage de terre végétale sur 30 cm	m²	5,00 €	80,00	250,00 €
209	Démolition fondation WC existant et déconnexion des réseaux	lt	3 200,00 €	1,00	3 200,00 €
210	Démolition et démontage de l'aire de jeux (cloture + sol + dépôt des jeux)	lt	3 200,00 €	1,00	3 200,00 €
211	Démolition d'ouvrages d'assainissement (REGARD, aviseur, grille, ...)	U	350,00 €	14,00	4 900,00 €
212	Démolition de maçonnerie	m3	150,00 €	15,00	2 250,00 €
213	Réalisation de sondages à la pelle mécanique	m3	180,00 €	15,00	2 400,00 €
214	Réalisation de sondages à l'asciratrice	m3	250,00 €	20,00	5 000,00 €
215	Dépôt réseaux inf < Ø 500	mi	150,00 €	80,00	8 000,00 €
Sous-total Travaux préparatoires				137 955,00 €	
300 RESEAU D'ADUCTION D'EAU POTABLE					
301	Raccordement du bloc WC - Branchement sur 15ml et raccordement réseau existant AEP toutes poses comprises y compris remblais et pose	lt	4 200,00 €	1,00	4 200,00 €
302	Raccordement Fontaine - Branchement sur 18ml et raccordement réseau existant AEP toutes poses comprises y compris remblais et pose	lt	4 200,00 €	1,00	4 200,00 €
303	Déplacement d'un poutre incendie	lt	2 500,00 €	2,00	5 000,00 €
Sous-total Réseau d'adduction d'eau potable				13 400,00 €	

■ ■ ■

1100 AIRE DE JEUX					
1101	Fourniture et pose de jeux				
1101.1	Grande World (tordapied rouges) - S&K Holz ou similaire	u	30 000,00 €	1,00	30 000,00 €
1101.2	Kita flexi 3 adaptés - S&K Holz ou similaire	u	15 000,00 €	1,00	15 000,00 €
1102	Adaptation fixation jeux sur dalle métro	lt	12 000,00 €	1,00	12 000,00 €
1103	Sol souple synthétique EPDM	m2	165,00 €	130,00	21 450,00 €
1104	Longrine périphérique pour sol souple 30cmx 15 cm	ml	230,00 €	67,00	15 410,00 €
1105	Panneau d'information	u	900,00 €	1,00	900,00 €
1106	Conférence extérieure avec mise en service	lt	750,00 €	1,00	750,00 €
Total Aire de jeux				65 510,00 €	
TOTAL en € HT				2 851 718,80 €	
TVA				466 343,60 €	
TOTAL en € TTC				2 438 061,80 €	

VERIFICATION DES PRIX UNITAIRES DOE PAR RAPPORT AUX BPU

VERIFICATION MONTANTS ENTRE DOE / AE / TABLEAU

PU Moyen des offres	OFFRE MOYENNE	Ecart % avec offre moyenne
73 298,17 €	73 298,17 €	-23%
26 457,52 €	26 457,52 €	32%
4 485,34 €	4 485,34 €	12%
43 789,76 €	43 789,76 €	75%
8 529,69 €	8 529,69 €	327%
3 045,25 €	3 045,25 €	22%
-		-
159 668,73 €	0	7%
5 438,46 €		34%
379,27 €	7 585,40 €	-11%
8,64 €	14 244,21 €	-23%
16,38 €	639,34 €	9%
6,80 €	21 772,40 €	-37%
9,77 €	17 592,00 €	9%
11,78 €	20 850,60 €	-16%
9,82 €	481,17 €	97%
1 098,24 €	1 098,24 €	66%
1 710,02 €	1 710,02 €	47%
186,52 €	2 611,33 €	-47%
67,37 €	1 019,55 €	-55%
73,54 €	1 193,15 €	-92%
135,18 €	2 703,53 €	-46%
64,12 €	3 847,40 €	-57%
-		-
103 775,81 €	0	-25%
1 222,48 €		-71%
1 508,67 €	1 508,67 €	64%
2 545,92 €	5 091,85 €	2%
-		-
7 823,91 €	0	-42%

Ecart estimation MoE

28%

Ecart estimation MoE

19%

Ecart estimation MoE

28%

0 et sur DOE < 0,00€ (montant saisi dans le titre du prix et

0 et sur DOE < 0,00€ (montant saisi dans le titre du prix et

...

	Designation	Unité	PU estimation MoE	DOE	Sous-Total	PU Moyen des offres	OFFRE MOYENNE	Ecart % avec offre moyenne	PU	Sous-Total	PU	Sous-Total
1100 AIRE DE JEUX												
1101	Fournitures et pose de jeux											
1101.1	Gnome World (cordages rouges) - Sik Holz ou similaire	u	30 000,00 €	1,00	30 000,00 €	38 838,67 €	38 838,67 €	29%	38 500,00 €	38 500,00 €	41 580,00 €	41 580,00 €
1101.2	Kita Flexi 3 adhésif - Sik Holz ou similaire	u	15 000,00 €	1,00	15 000,00 €	14 949,33 €	14 949,33 €	0%	13 250,00 €	13 250,00 €	17 270,00 €	17 270,00 €
1102	Adaptation fixation jeux sur dalle métro	lt	12 000,00 €	1,00	12 000,00 €	8 634,33 €	8 634,33 €	-29%	6 200,00 €	6 200,00 €	10 175,00 €	10 175,00 €
1103	Sol souple synthétique EPDM	m2	165,00 €	130,00	21 450,00 €	133,69 €	13 480,13 €	-17%	153,50 €	13 455,00 €	167,50 €	14 014,00 €
1104	Longrine périphérique pour sol souple 30cmx 15 cm	ml	230,00 €	67,00	15 410,00 €	33,71 €	2 258,35 €	-85%	47,00 €	3 149,00 €	35,20 €	2 358,40 €
1105	Panneau d'information	u	900,00 €	1,00	900,00 €	1 128,41 €	1 128,41 €	25%	250,00 €	250,00 €	2 750,00 €	2 750,00 €
1106	Contrôle extérieur avant mise en service	lt	750,00 €	1,00	750,00 €	2 548,56 €	2 548,56 €	240%	225,00 €	225,00 €	4 400,00 €	4 400,00 €
	Total Aire de jeux				89 910,00 €	81 834,78 €	-14%			78 929,60 €		82 847,40 €
	TOTAL en € HT				2 851 718,00 €	1 646 906,35 €	-21%			320 780,07 €		1 554 872,44 €
	TVA				406 343,60 €	319 376,28 €	-21%			1 978 680,42 €		310 974,49 €
	TOTAL en € TTC				2 453 061,60 €	1 916 282,70 €	-21%			1 978 680,42 €		1 865 846,93 €
VERIFICATION DES PRIX UNITAIRES DOE PAR RAPPORT AUX BPU												
VERIFICATION MONTANTS ENTRE DOE / AE / TABLEAU												
Ecart estimation MoE -19% Ecart estimation MoE -28%												
Doi sur DOE = 0,06€ (montant calculé dans le titre du prix et n le PSEAS : soit AE = 10 400,00 € HT et sur DOE = 10 000,30 €												

Extrait du tableau d'analyse financière que j'ai réalisé (le début et la fin), avec anonymisation des candidats.

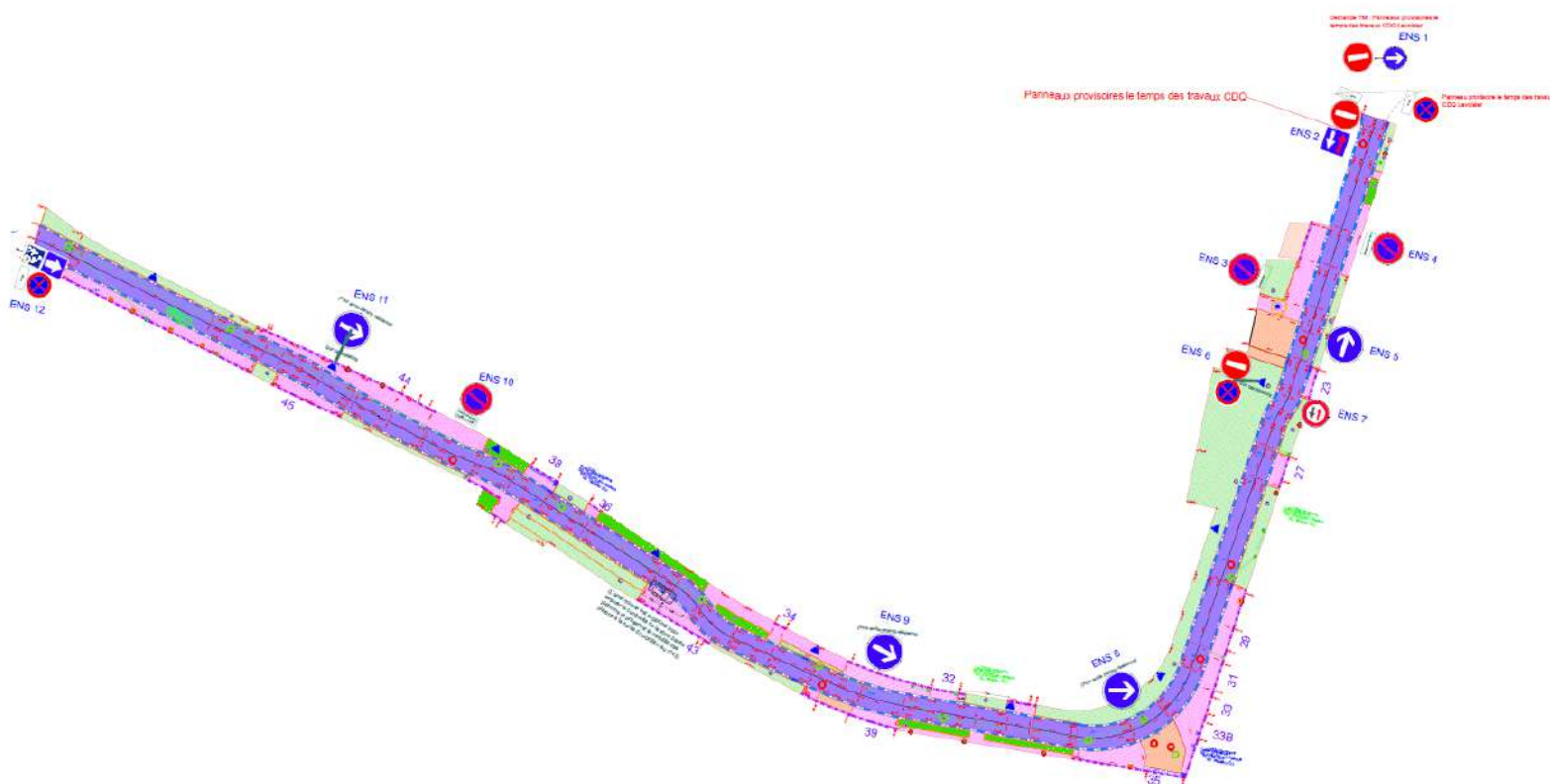
[Retour texte](#)

Annexe 6 : Tableau d'analyse de la complétude des offres pour le coeur de quartier de Lavoisier

Libellés			
DC1	OK	OK	OK
DC2	OK	OK	OK
Déclaration sur l'honneur pour justifier que le candidat n'entre dans aucun des cas d'interdiction de soumissionner	p12	OK p. 19	p31
Renseignements sur le respect de l'obligation d'emploi mentionnée aux articles L. 5212-1 à L. 5212-11 du Code du travail	OK p.37	OK p.19	OK p.14
Une copie du ou des jugements prononcés, si le candidat est en redressement judiciaire	/ p.36	/ p.7	/ p.14
Déclaration concernant le chiffre d'affaires global et le chiffre d'affaires concernant les prestations objet du contrat, réalisées au cours des trois derniers exercices disponibles	OK p.31	OK p.26	OK p.9
Déclaration indiquant les effectifs moyens annuels du candidat et l'importance du personnel d'encadrement pour chacune des trois dernières années	OK	OK	OK
Liste des travaux exécutés au cours des cinq dernières années, appuyée d'attestations de bonne exécution pour les plus importants (montant, époque, lieu d'exécution, s'ils ont été effectués selon les règles de l'art et menés à bonne fin)	OK	OK	OK
Déclaration indiquant l'outillage, le matériel et l'équipement technique dont le candidat dispose pour la réalisation du contrat	OK	OK	OK
FNTP			
FNTP 3421 Chaussées urbaines - Revêtement en matériaux enrobés	OK	OK	OK
FNTP 2321 Travaux de terrassements courants en milieu urbain	OK	OK	OK
FNTP 3452 - Pavés et dalles en béton ou autres matériaux	OK	OK	OK
FNTP 341 Chaussée urbaines – Assises de chaussées	OK	OK	OK
Certification ASQUAL – Application de Géomembranes – mise en place et Soudage	Lettre d'engagement FSE CERTIFICATION ASQUAL - attestation mais pas de DC 4 de France sud etanchéité + attestations fournis dans dossier de candidature FSE p 18	OK p67 candidature - GETECH - Déclaré en g re n p d'engagement 10/03/2025 - page 66	Attestation GETECH asqual ok Déclaré en sous traitant C S A E 1 S Cn

[Retour texte](#)

Annexe 7 : Plan de signalisation de la rue Fonsorbes à Blagnac



Nota : Étant donné la proximité de la rue de Fonsorbes avec les travaux du cœur de quartier de Lavoisier, et à la demande de Toulouse Métropole, certains panneaux seront installés de manière provisoire afin de pouvoir être déplacés facilement si nécessaire, et ne pas gêner le déroulement des travaux.

[Retour texte](#)

Annexe 8 : Spatialisation des Permavoid dans le Coeur de Quartier de Saouzelong à Toulouse - Plan issu du DCE



Légende :

En orange sur le plan : Permavoids 85

En magenta sur le plan : Permavoids 150

En bleu sur le plan : Permavoids 85s

[Retour texte](#)

Annexe 9 : Protocole élaboré pour le suivi du système Permavoid

Table des matières

Introduction.....	1
Présentation du projet	1
Le système Permavoid	1
Le système Permavoid dans le cœur de quartier de Saouzelong	2
Les essences végétales dans le cœur de quartier de Saouzelong.....	3
Arbres existants avant le projet.....	4
Arbres plantés dans le cadre du projet.....	4
Les massifs	5
Alnus spaethii - Aulne de Spaeth	5
Acer freemanii - Erable de Freeman.....	6
Pyrus calleryana – Poirier de Chine.....	7
Gleditsia triacanthos Shademaster - Févier d'Amérique	8
Cercis siliquastrum - Arbre de Judée	8
Chionanthus retusus - Arbre de neige.....	9
Zelkova serrata - Orme de Sibérie	10
Arbres restants sans exact homologue hors du système Permavoid	10
Synthèse	12
Elaboration du protocole de suivi	13
Facteurs influençant l'alimentation en eau du Permavoid : rôle de la topographie et des méthodes de collecte	13
Topographie du projet.....	13
Récupération des eaux pluviales - Permavoid 85s et 85	14
Récupération des eaux pluviales - Permavoid 85 (hors métro) et 150.....	15
Etudes et méthodes présentes dans la littérature	16
Approches et méthodes d'évaluation de la santé des arbres en milieu urbain.....	16
Expérimentations et recherches sur le système Permavoid.....	24
Protocole envisagé	27
Références	27

Introduction

Ce document met en lumière les points clés permettant de suivre l'efficacité des Permavoid sous divers aspects.

Objectifs du document

Ce document a pour but de développer un protocole de suivi permettant de répondre aux questions suivantes :

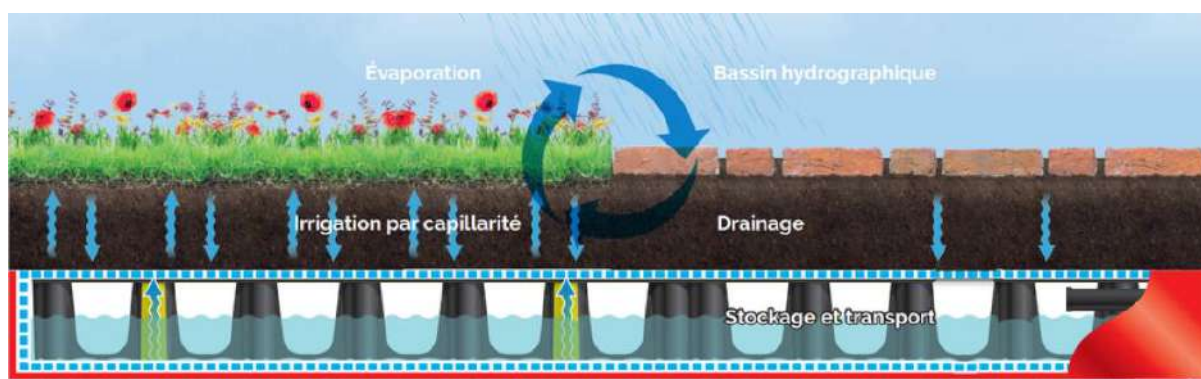
1. Les Permavoid sont-ils efficaces ?
2. En période de sécheresse, quelle est leur valeur ajoutée ?
3. Quelle essence d'arbre est la plus adaptée aux Permavoid ?
4. Quel type de Permavoid est le plus performant ?
5. Quels paramètres sont pertinents pour assurer un suivi rigoureux ?

Présentation du projet

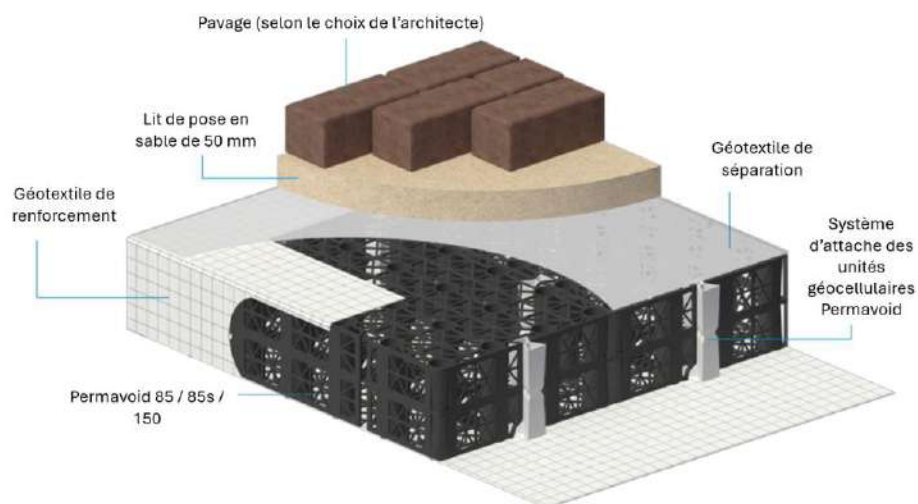
Le système Permavoid

Dans le cadre de la gestion durable des eaux pluviales et du soutien à la végétation, le système Permavoid se distingue par son approche novatrice. Une innovation majeure du projet réside dans l'installation de matelas alvéolaires de répartition de charge, appelées « Permavoid ». Ce système vise à recycler les eaux pluviales pour arroser la végétation locale. En effet, la structure creuse Permavoid, constituée de modules géocellulaires légers, offre une solution optimisée pour le stockage d'eau de pluie sous le substrat ou les dalles des espaces urbains, les toitures végétalisées hydroactives et les jardins suspendus. Grâce à un système de remontée capillaire via des colonnes de fibres intégrées dans les modules Permavoid, cette eau est directement accessible aux plantes. Ce mécanisme d'irrigation inspiré de la nature supprime la nécessité de systèmes classiques tels que le goutte-à-goutte, les vannes, les tuyaux ou les pompes, réduisant ainsi les contraintes de maintenance. L'eau est délivrée aux plantes selon leurs besoins, de manière autonome, naturelle et sans consommation énergétique, imitant parfaitement le fonctionnement naturel.

D'après la fiche technique Permavoid



La conception « en sandwich » Permavoid offre une fondation superficielle stable et perméable, idéale pour le revêtement. Elle assure une répartition homogène des charges et garantit une capacité portante élevée, tout en préservant le volume du sol enracinable de tout risque de compactage. Voici une représentation schématique du système Permavoid :



D'après la fiche technique Permavoid

Le système Permavoid dans le cœur de quartier de Saouzelong

Le projet est situé au cœur du quartier Saouzelong, dans le sud-est de Toulouse. Son objectif principal est de repenser l'organisation de l'Avenue Albert Bedouce ainsi que des maillages connexes, tout en réaménageant deux places : celle du métro et celle du parking accueillant le marché de plein vent. Ces interventions s'inscrivent dans une stratégie globale de création d'un « quartier-parc ».

Dans le cadre de ce projet, trois variantes de Permavoid sont déployées, chacune adaptée aux contraintes locales (la spatialisation des différents Permavoid est illustrée sur le plan en annexe):

D'après les fiches techniques :

1. **Permavoid 85¹** : Le Permavoid 85 est déployé sous les trottoirs et sous une partie de la place du métro réservée aux piétons. Sa faible profondeur le rend parfaitement adapté

¹ 85 correspond ici à une épaisseur de 85 mm, tandis que 150 désigne une épaisseur de 150 mm.

aux zones non circulées où l'espace disponible est limité, le rendant ainsi idéal pour des applications de fondations multifonctionnelles. Grâce à sa structure géocellulaire légère et sa capacité drainante, il assure donc un soutien structurel suffisant tout en permettant une gestion efficace des eaux pluviales.

2. **Permavoid 150** : Le Permavoid 150 est installé sous le trottoir, situé en face de l'entrée de la station de métro, dans une zone susceptible d'être circulée par des véhicules d'entretien dédiés à la maintenance de la dalle et de la station. Ce modèle, avec une profondeur plus importante, offre une capacité portante élevée et une meilleure répartition des charges. En effet, cette gamme offre une alternative robuste aux fondations traditionnelles grâce à sa haute résistance. Elle est donc idéale pour des zones où la circulation de véhicules est occasionnelle. Ainsi, en plus de son rôle de stockage des eaux pluviales, sa conception robuste assure la stabilité nécessaire pour résister aux contraintes mécaniques générées par les véhicules.
3. **Permavoid 85S** : Le Permavoid 85S est employé sous les massifs végétalisés situés sur la place du métro. Ce modèle est spécifiquement conçu pour favoriser la croissance des végétaux grâce à ses propriétés drainantes et sa capacité à stocker et redistribuer l'eau. De plus, cette gamme est parfaitement adaptée aux aménagements paysagers.

Dans chaque configuration, différentes essences végétales seront testées afin d'évaluer leur compatibilité avec le système Permavoid. Afin de suivre l'efficacité de chaque installation, un arbre témoin sera utilisé comme référence, permettant d'analyser et de comparer les évolutions. Cette démarche vise à identifier, dans notre contexte :

- Le modèle de Permavoid offrant les meilleures performances
- Les espèces végétales les mieux adaptées à ce dispositif

Ainsi, l'un des principaux leviers de notre protocole de suivi repose sur la comparaison, selon divers critères visuels ou physico-chimiques, entre les arbres équipés du système Permavoid et ceux qui ne le sont pas. Cependant, pour mener ces comparaisons, il est nécessaire, dans un premier temps, d'identifier les essences végétales à évaluer entre elles.

Les essences végétales dans le cœur de quartier de Saouzelong

Dans le cœur de quartier, différents types de végétation seront présentés à termes. Cette section a pour objectif de déterminer quels arbres doivent être comparés entre eux dans le cadre du suivi.

Arbres existants avant le projet

Grâce aux arbres déjà présents avant le lancement du projet, plusieurs scénarios de comparaison seront possibles. En effet, ces arbres existants seront irrigués, en partie, par les trois types de matelas alvéolaires.

D'une part, comme indiqué sur la figure ci-dessus (Figure ..), les arbres jaunes pourront être comparés aux arbres roses, et les arbres oranges également mis en parallèle avec les arbres roses. Bien que la majorité des arbres roses ne soient pas situés dans la zone d'intervention du projet, ils pourront néanmoins servir de témoins. Cette première comparaison permettra d'évaluer l'efficacité des Permavoid 85 et 150 sur les arbres initialement présents au cœur du quartier.

D'autre part, nous pourrions également analyser l'évolution des arbres jaunes, oranges et de l'arbre rouge, tous irrigués par les trois types de Permavoid. Cette démarche permettra de comparer, dans des conditions similaires, pour une même essence d'arbre, l'efficacité respective des différents modèles Permavoid.

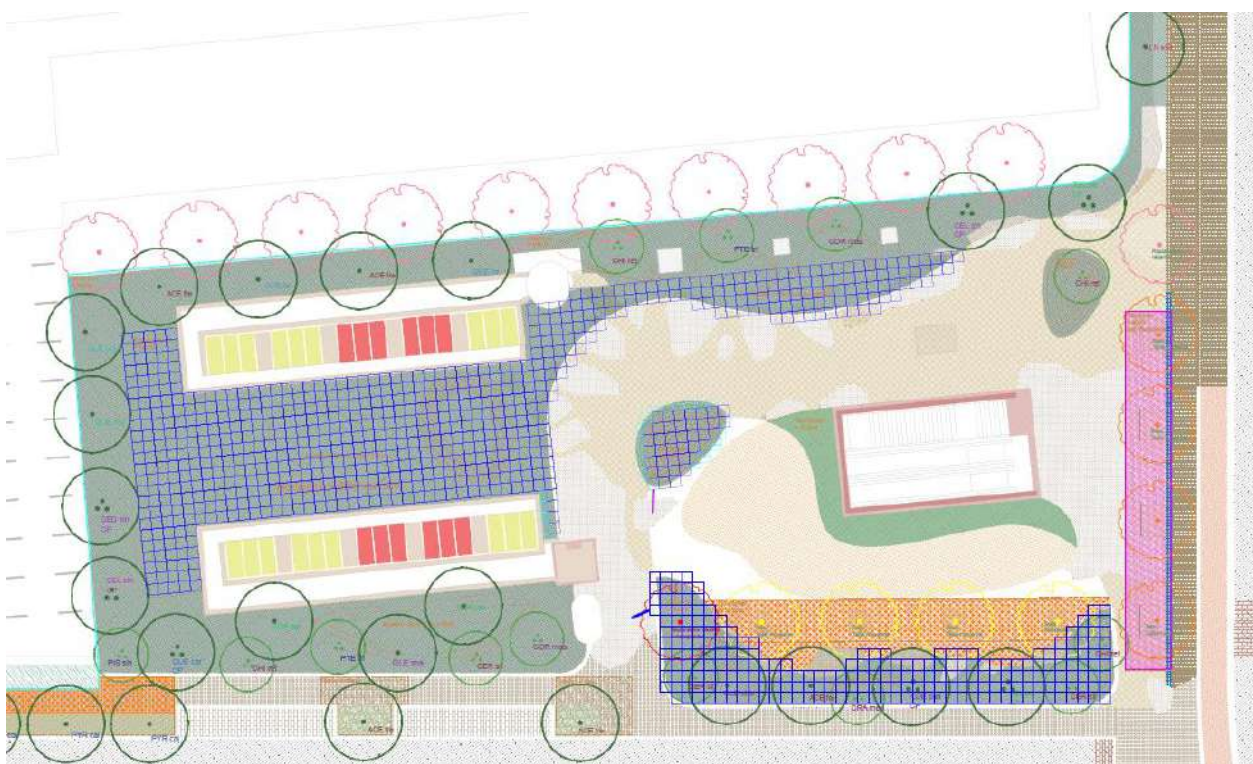


Figure .. : Spatialisation des différentes possibilités de comparaison pour les arbres existants (roses, oranges et rouge) identifiés avant le début du projet.

Arbres plantés dans le cadre du projet

Dans ce dernier cas de figure, l'objectif est d'examiner tous les types de végétation que le projet prévoit de planter dans le cœur du quartier de Saouzelong afin d'identifier les massifs et les arbres qui devront être comparés entre eux. Pour y parvenir, chaque type de végétation sera soigneusement différencié, ce qui permettra de définir un protocole de suivi rigoureux au cas par cas.

Les massifs

Comme évoqué précédemment, la place du métro accueillera des massifs composés de graminées (45 %), de vivaces (50 %) et d'arbustes (5 %). Les détails spécifiques concernant chaque type de massif sont disponibles dans la légende du plan en annexe. Pour rappel, cette végétation est irriguée par le système Permavoid 85S. Afin d'évaluer l'efficacité de ce dispositif, une comparaison directe sera réalisée avec les massifs adjacents dépourvus de Permavoid (en vert clair sur la figure ci-dessous).



Figure .. : Les zones représentées en vert clair correspondent aux massifs dépourvus de Permavoid, qui serviront de référence lors du suivi comparatif avec les massifs équipés du système Permavoid 85s.

Alnus spaethii - Aulne de Spaeth

Cette essence d'arbre sera implantée, comme illustré dans la figure ci-après, le long de l'avenue Bedouce, soit sur des modules Permavoid 85, soit en fosses de plantation composées d'un mélange terre-pierre. Ces arbres évolueront donc sous des conditions similaires, situés sur les trottoirs de la même rue. Les arbres plantés en fosses serviront ainsi de témoins pour ceux utilisant le système Permavoid, permettant d'évaluer précisément l'efficacité de ce dispositif pour cette essence spécifique.



Figure .. : Spatialisation des *Alnus spaethii* à comparer entre eux (en jaune)

Acer freemanii - Erable de Freeman

Tout comme pour l'essence végétale précédente, ce cas offre la possibilité de comparer des arbres plantés en fosse, composées d'un mélange terre-pierre, avec ceux bénéficiant du système Permavoid, en l'occurrence le Permavoid 85s (Figure ..). Une fois de plus, les arbres sont situés à proximité les uns des autres, ce qui garantit qu'ils évolueront dans des conditions similaires, rendant ainsi la comparaison plus pertinente. Les arbres plantés en fosses serviront ainsi de témoins pour ceux utilisant le système Permavoid, permettant d'évaluer précisément l'efficacité de ce dispositif pour cette essence spécifique.



Figure .. : Spatialisation des *Acer freemanii* à comparer entre eux (en jaune)

Pyrus calleryana – Poirier de Chine

Tout comme l'*Alnus spaethii*, cette essence d'arbre sera plantée sur la même rue, la rue Virgile (Figure..), soit sur des modules Permavoid 85, soit en fosses de plantation composées d'un mélange terre-pierre. Ces arbres évolueront donc sous des conditions similaires, étant situés sur les trottoirs de la même rue. Les arbres plantés en fosses serviront ainsi de témoins pour ceux irrigués via le système Permavoid, permettant d'évaluer avec précision l'efficacité de ce dispositif pour cette essence spécifique.

De plus, cette configuration offre également l'opportunité d'examiner si le Permavoid 85 se révèle plus efficace pour le poirier de Chine ou pour l'aulne de Spaeth, en comparant leur développement dans des conditions similaires.



Figure .. Spatialisation des *Pyrus calleryana* à comparer entre eux (en jaune)

Gleditsia triacanthos Shademaster - Févier d'Amérique

Une autre comparaison envisageable pour une essence spécifique qui correspond à un grand arbre en tige (Figure ..).



Figure .. : Spatialisation des *Gleditsia triacanthos* Shademaster à comparer entre eux (en jaune)

Cercis siliquastrum - Arbre de Judée

Le *Cercis siliquastrum*, également connu sous le nom d'Arbre de Judée ou Gainier, est un grand arbuste caduc au port érigé, offrant une spectaculaire floraison rose violacé. Comme pour les comparaisons précédentes, celle-ci permettra, grâce à un arbuste témoin hors des Permavoid 85s, d'évaluer l'efficacité de ce système sur cette essence spécifique qui fleurit aux mois d'avril et mai (Figure ..).

<https://www.promessedefleurs.com/arbustes/arbustes-par-variete/cercis-arbres-de-judee/cercis-siliquastrum-arbre-de-judee.html>

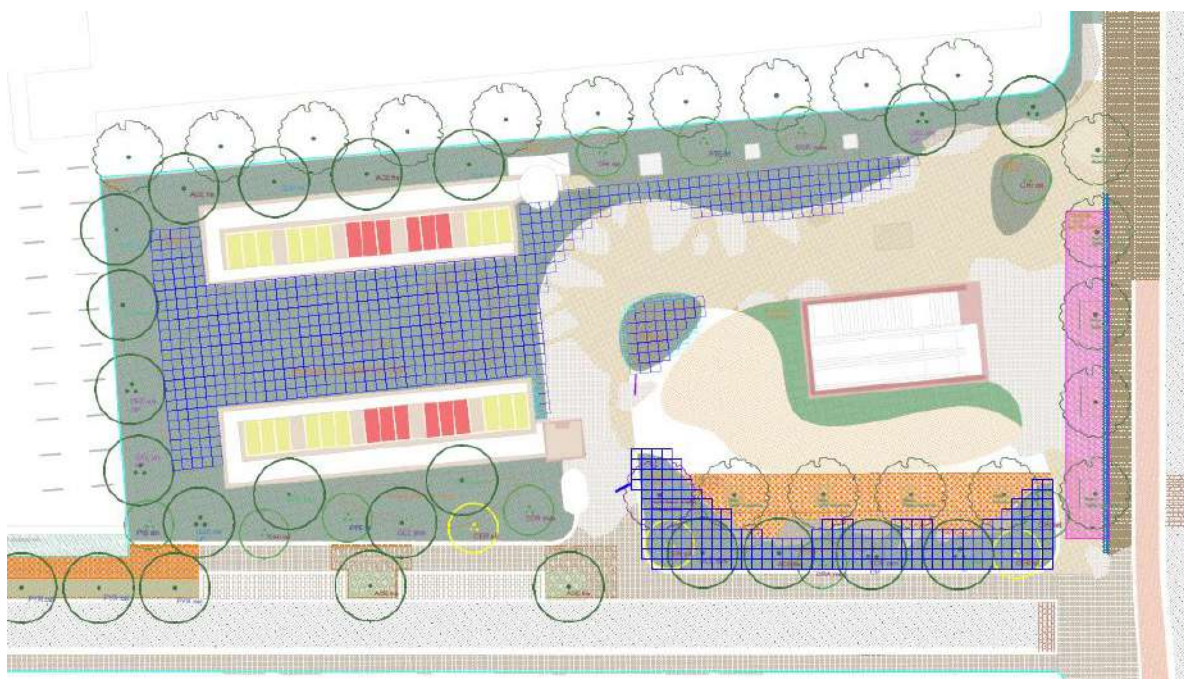


Figure .. : Spatialisation des *Cercis siliquastrum* à comparer entre eux (en jaune)

Chionanthus retusus - Arbre de neige

Une autre comparaison permettra d'évaluer un nouvel arbuste en cépée, toujours dans le cadre du Permavoid 85s. Cette fois, comme montré sur la figure ci-dessous (Figure ..), trois arbustes témoins seront utilisés, plus ou moins espacés les uns des autres, ce qui veut dire qu'il peuvent potentiellement enregistrer des conditions d'évolution différentes. Ceci rendra ainsi le suivi plus précis.

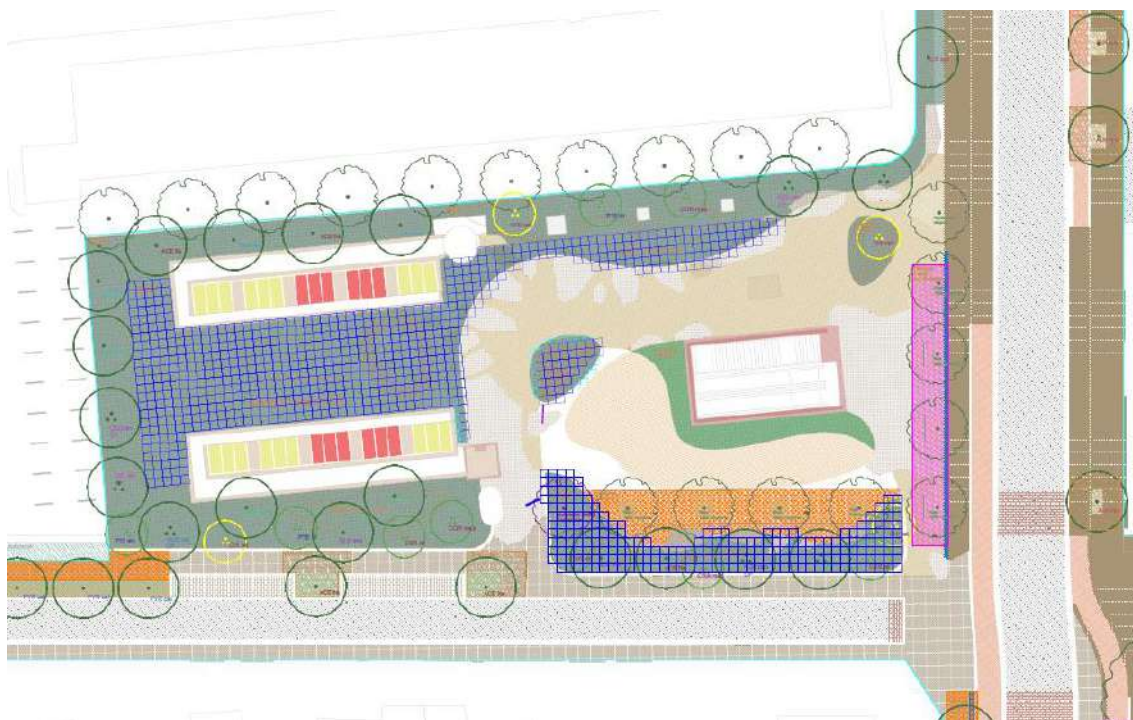


Figure .. : Spatialisation des *Chionanthus retusus* à comparer entre eux (en jaune)

Zelkova serrata - Orme de Sibérie

Comparaison des Orme de Sibérie.

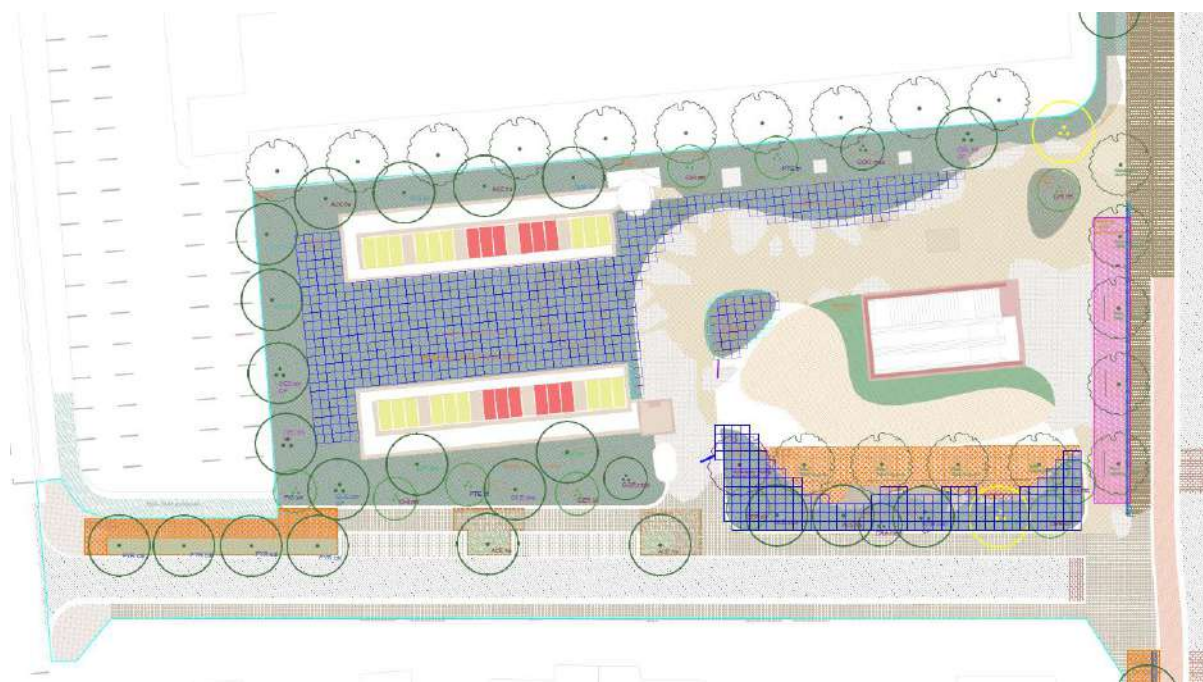


Figure .. : Spatialisation des *Zelkova serrata* à comparer entre eux (en jaune)

Arbres restants sans exact homologue hors du système Permavoid

1) *Koelreuteria paniculata* - Savonnier de Chine

Dans l'emprise du projet, il n'y a pas d'autre Savonnier de Chine disponible pour réaliser une comparaison directe entre des arbres de la même essence. Ainsi, il est nécessaire d'identifier, au sein de l'emprise du projet (afin de limiter les variations des conditions de vie), un arbre qui répond aux mêmes critères que le *Koelreuteria paniculata*, notamment en termes de qualité du sol, d'exposition, de résistance à la sécheresse, etc.

Le *Quercus cerris* apparaît comme une essence particulièrement adaptée pour remplir ce rôle de témoin. Il partage plusieurs points communs avec le *Koelreuteria paniculata*, tels que sa capacité à s'adapter à des sols argilo-limoneux, sa rusticité remarquable allant jusqu'à -23,5 °C (-20.5 °C pour le *Koelreuteria paniculata*), son exigence en humidité (sols frais et profonds) et son aptitude à prospérer sur des sols calcaires, au pH neutre ou calcaire. Cependant, leurs périodes de floraison et leurs tailles à maturité diffèrent sensiblement ; ces paramètres ne seront donc pas pris en compte dans le cadre du protocole de suivi.

Grâce à son enracinement profond, le *Quercus cerris* est capable de puiser l'eau des couches inférieures du sol, ce qui en fait un excellent candidat pour observer les mécanismes naturels de résilience face au stress hydrique. Cela contraste avec le *Koelreuteria paniculata*, qui bénéficiera d'une irrigation ciblée via le système Permavoid 85s (Figure ..).

Ce choix permettra de comparer l'impact du Permavoid 85s sur le développement et la résistance du *Koelreuteria paniculata* par rapport à un arbre n'étant pas irrigué mais s'appuyant sur ses propres capacités d'adaptation.

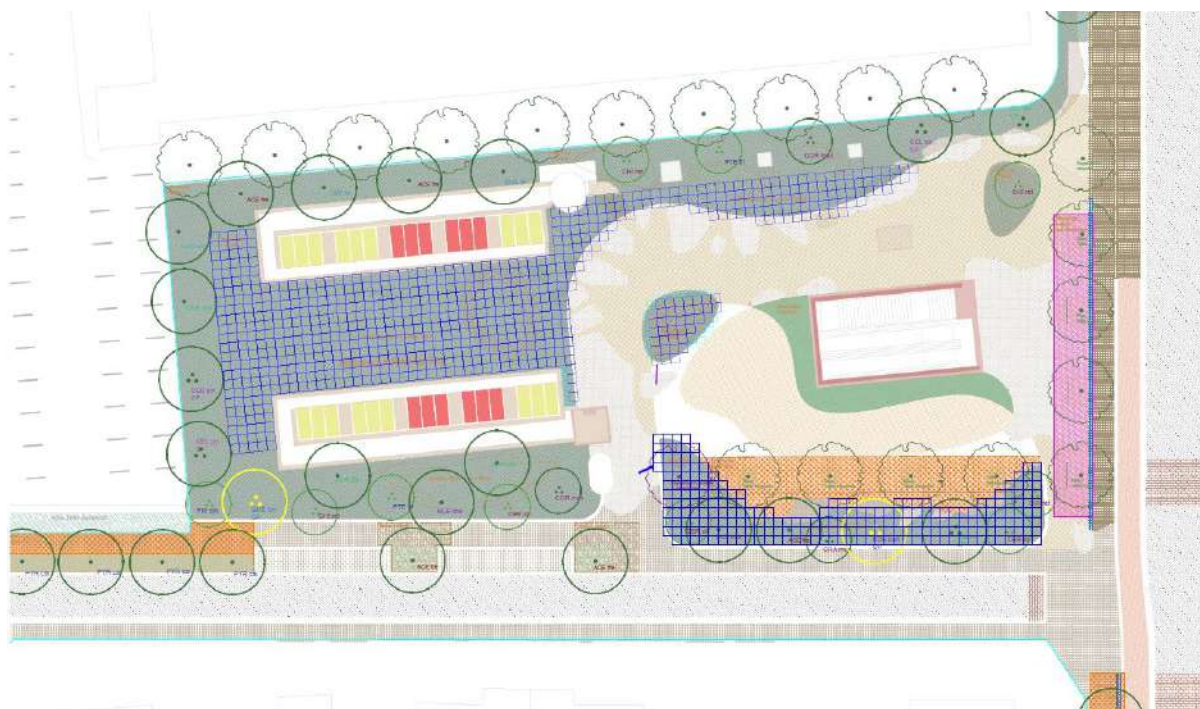


Figure .. : Spatialisation des arbres à comparer entre eux (indiqués en jaune), incluant le Savonnier de Chine bénéficiant du système Permavoid 85s et le Chêne lombard (*Quercus cerris*) placé en dehors du Permavoid.

<https://www.promessedefleurs.com/arbustes/arbustes-par-variete/chene/quercus-cerris-chene-chevelu-ou-chene-lombard.html>

<https://www.promessedefleurs.com/arbustes/arbustes-par-variete/koelreuteria-savonnier/koelreuteria-paniculata-savonnier-de-chine.html>

2) *Crataegus x media 'Punicea'* – épine rouge

Pour cette dernière catégorie, le projet ne dispose pas exactement du même type d'arbre ailleurs, sans Permavoid, pouvant servir de témoin. Ainsi, parmi toutes les essences d'arbres proposées dans le projet, nous avons décidé de comparer l'évolution du *Crataegus* avec l'arbre présentant les conditions de développement les plus proches : le *Cornus mas*. (Figure ..)

En effet, le *Cornus mas* (cornouiller mâle) est une essence dont les caractéristiques sont similaires à celles du *Crataegus x media 'Punicea'*. Cette espèce partage des exigences similaires, tant en sous-sol (humidité, pH) qu'en surface (exposition solaire). De plus, le cornouiller mâle offre une rusticité équivalente à celle du *Crataegus*, ce qui en fait une référence pertinente.

Ainsi, en prenant le *Cornus mas* comme point de comparaison, il est possible de disposer d'une base fiable pour analyser les réponses du *Crataegus* au Permavoid 85s dans des conditions similaires, notamment en ce qui concerne la croissance, la résistance aux stress environnementaux et le développement de ses fonctions écologiques.

<https://www.rhs.org.uk/plants/516640/crataegus-media-punicea/details>

<https://www.rhs.org.uk/plants/4399/cornus-mas/details>

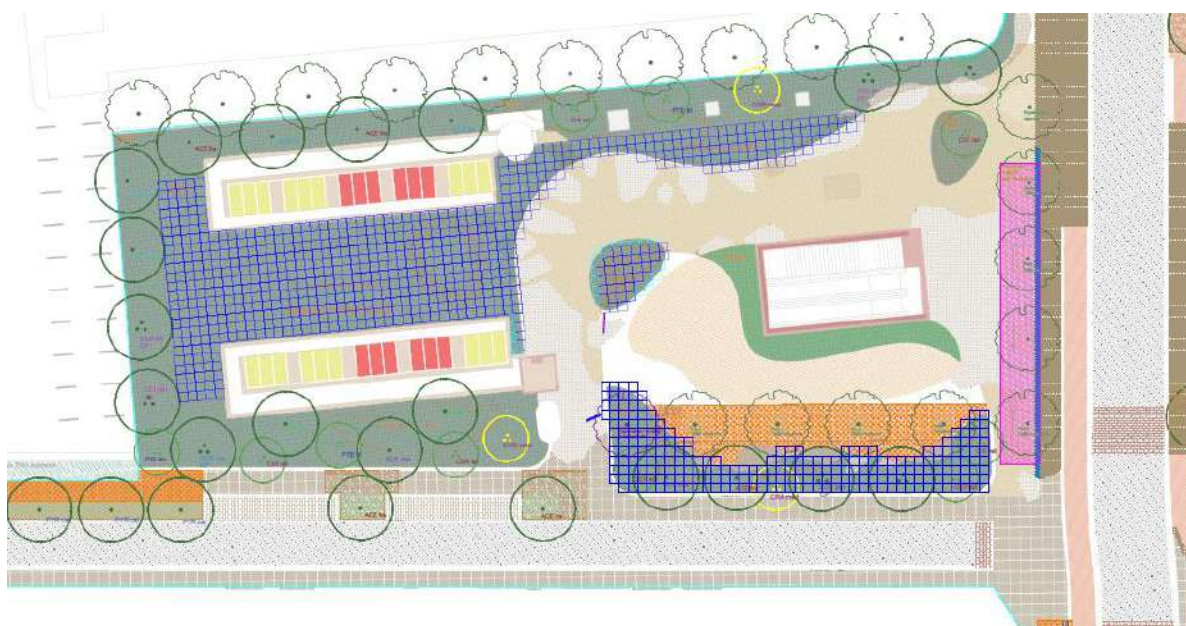


Figure .. : Spatialisation des arbres à comparer entre eux (indiqués en jaune), incluant le *Crataegus* bénéficiant du système Permavoid 85s et les *Cornus mas* placés en dehors du Permavoid.

En conclusion, de nombreuses comparaisons seront réalisées dans le cadre du suivi de l'efficacité des différents systèmes Permavoid. Nous avons ainsi identifié des possibilités de comparaison entre arbres placés avec et sans Permavoid, mais il est également possible de faire des comparaisons intra-Permavoid. En effet, nous observons que de nombreux nouveaux arbres seront installés soit sur le Permavoid 85, soit sur le Permavoid 85s. Cette configuration offre donc l'opportunité d'examiner sur quelles essences d'arbres les systèmes Permavoid 85 et 85s se révèlent les plus efficaces, en comparant le développement de la végétation globale dans des conditions similaires.

- La gamme Permavoid 85 est-elle plus efficace pour les Poiriers de Chine ou pour les Aulnes de Spaeth ?
- De son côté, la gamme Permavoid 85s démontre-t-elle une meilleure performance sur les Érables de Freeman, les Féviers d'Amérique, les Arbres de Judée, les Arbres de neige, les Ormes de Sibérie, les Savonniers de Chine ou encore sur l'Épine rouge ?

Synthèse

Une synthèse est disponible en annexe, regroupant sur un même plan, toutes les essences identifiées pour le suivi.

« TLS_SAO_390_Place_DCE_250117 copie pour travail comparaison arbres plantés - SYNTHESE Objet »

Elaboration du protocole de suivi

Dans la section précédente, nous avons identifié les essences à comparer entre elles, mais sur la base de quels paramètres ?

Pour établir un protocole personnalisé pour chaque essence, il est essentiel de déterminer les conditions spécifiques sur place. L'un des facteurs clés influençant l'efficacité des Permavoid est la gestion de l'eau. Par conséquent, nous commencerons par identifier la provenance des eaux pluviales, car cela pourrait potentiellement impacter leur performance. En effet, un Permavoid recevant une quantité d'eau plus importante sera naturellement plus efficace qu'un autre. Cependant, cela ne résulte pas d'une supériorité intrinsèque de son système, mais simplement du fait qu'il bénéficie d'un apport en eau plus conséquent.

Facteurs influençant l'alimentation en eau du Permavoid : rôle de la topographie et des méthodes de collecte

Dans le périmètre du projet, le système Permavoid sera exclusivement alimenté par le ruissellement des eaux pluviales locales. La topographie du site déterminera ainsi la circulation de l'eau. Par la suite, ces eaux pluviales seront collectées selon deux méthodes distinctes pour alimenter le Permavoid : l'une concernant la dalle du métro et l'autre, les surfaces restantes.

Topographie du projet

Le schéma ci-après illustre l'origine de l'eau alimentant chaque Permavoid. Il s'agit d'un support pédagogique visant à faciliter la compréhension de l'écoulement (la taille des flèches n'est pas forcément proportionnelle à la pente). Pour des précisions techniques, un plan détaillant les cotes est disponible dans le dossier.

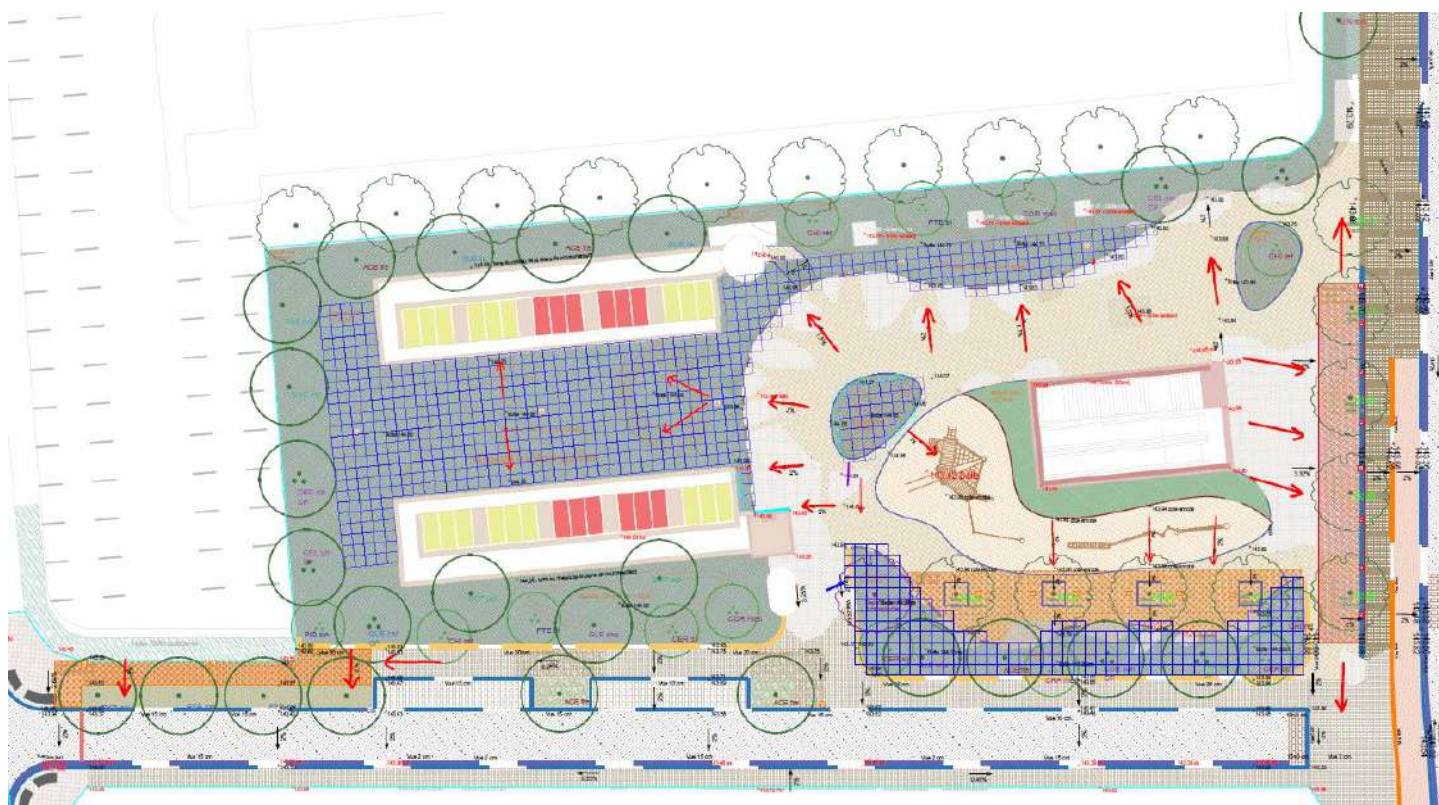


Figure.. : Ecoulement des eaux pluviales au niveau de la place du métro Saouzelong

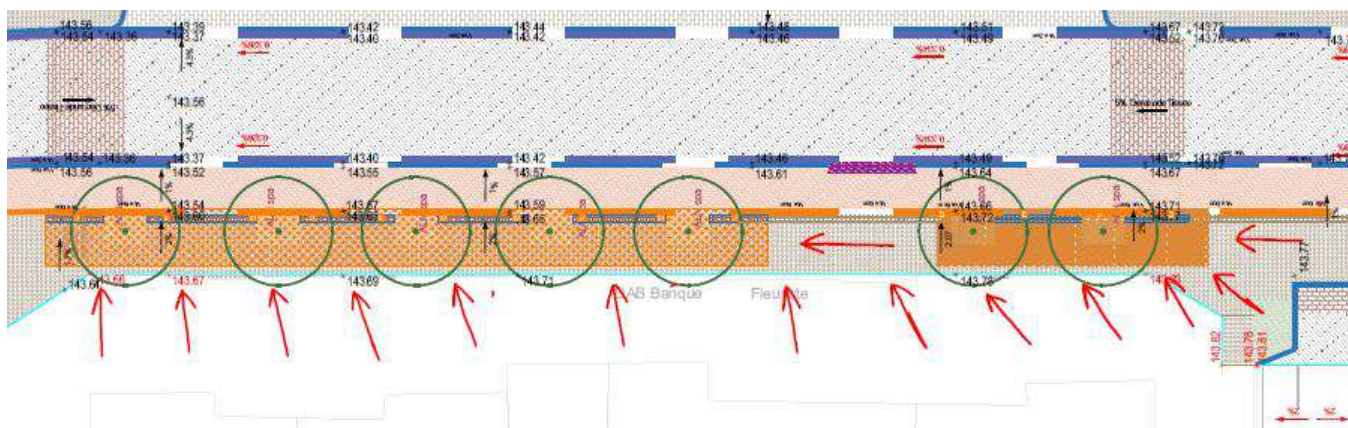


Figure .. : Ecoulement des eaux pluviales vers le Permavoid sur l'avenue Albert Bedouce

Récupération des eaux pluviales - Permavoid 85s et 85

Pour rappel, dans le cadre des travaux prévus, le système Permavoid 85s sera installé sous la dalle du métro. À cet emplacement, la collecte des eaux pluviales repose sur deux processus :

- 1) Ruissellement des eaux pluviales sur la surface, jusqu'à des grilles permettant leur collecte
- 2) Infiltration dans le sol puis redirection des eaux infiltrées vers les caissons de stockage via un géotextile drainant

Cette méthode est retranscrite sur le plan ci-dessous (Figure..)

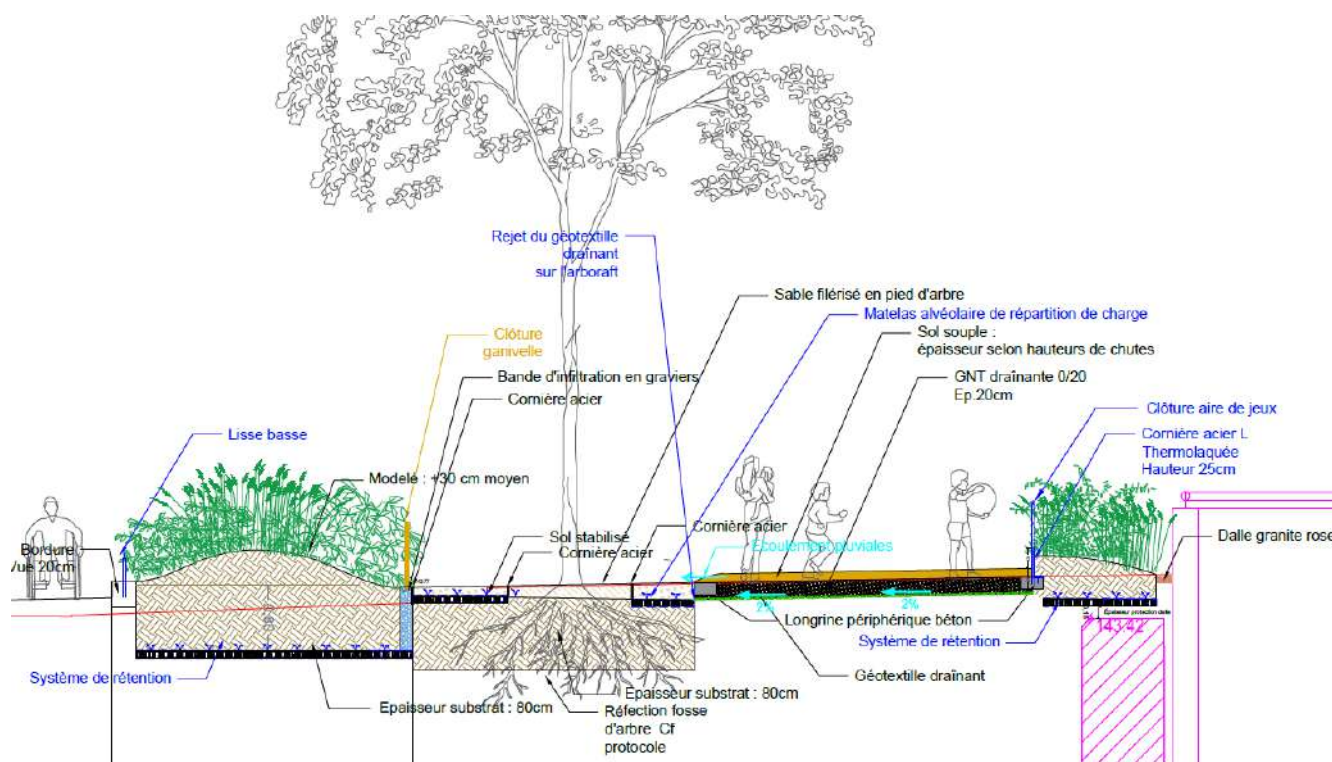


Figure... : Plan de collecte des eau pluviales pour le Permavoid 85s

Les eaux pluviales sont collectées au niveau des bordures grises **A VERIFIER**

+ Plan à ajouter

Récupération des eaux pluviales - Permavoid 85 (hors métro) et 150

Les dispositifs Permavoid 85 et 150, installés le long de l'avenue Bedouce et de la rue Virgile, fonctionnent selon un principe de récupération des eaux pluviales similaire, avec une distinction notable. Comme pour les autres installations, l'eau est collectée par ruissellement depuis les trottoirs. Cependant, contrairement aux systèmes utilisant un géotextile drainant, ces dispositifs intègrent des pavés à joints perméables, facilitant ainsi l'infiltration naturelle de l'eau vers les modules Permavoid. Un plan détaillé présentant ces informations est fourni ci-après (Figure ...).

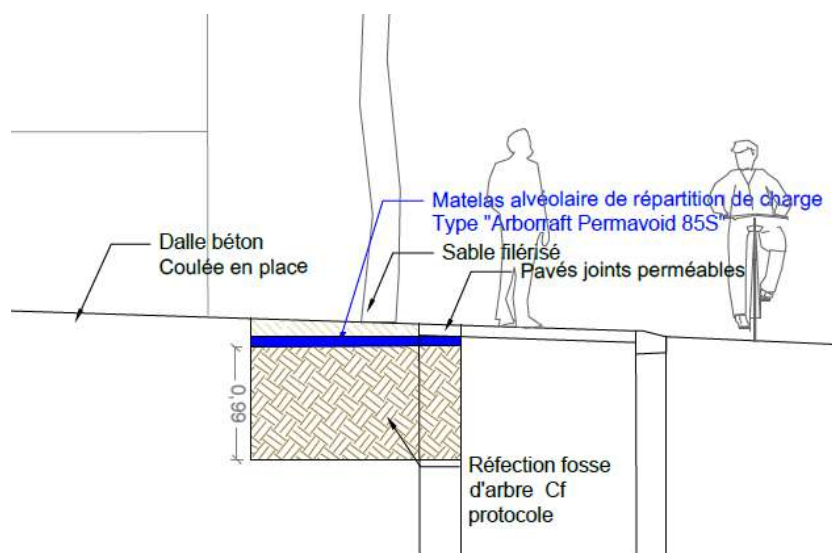


Figure.. : Configuration de la voirie intégrant les modules Permavoid 85 et 150.

À noter qu'une erreur est présente sur le plan : la mention « Permavoid 85s » est incorrecte et doit être remplacée par « Permavoid 150 ».

Concernant les joints perméables, ils sont illustrés en bleu sur les captures ci-dessous (entouré en jaune sur la Figure..) :

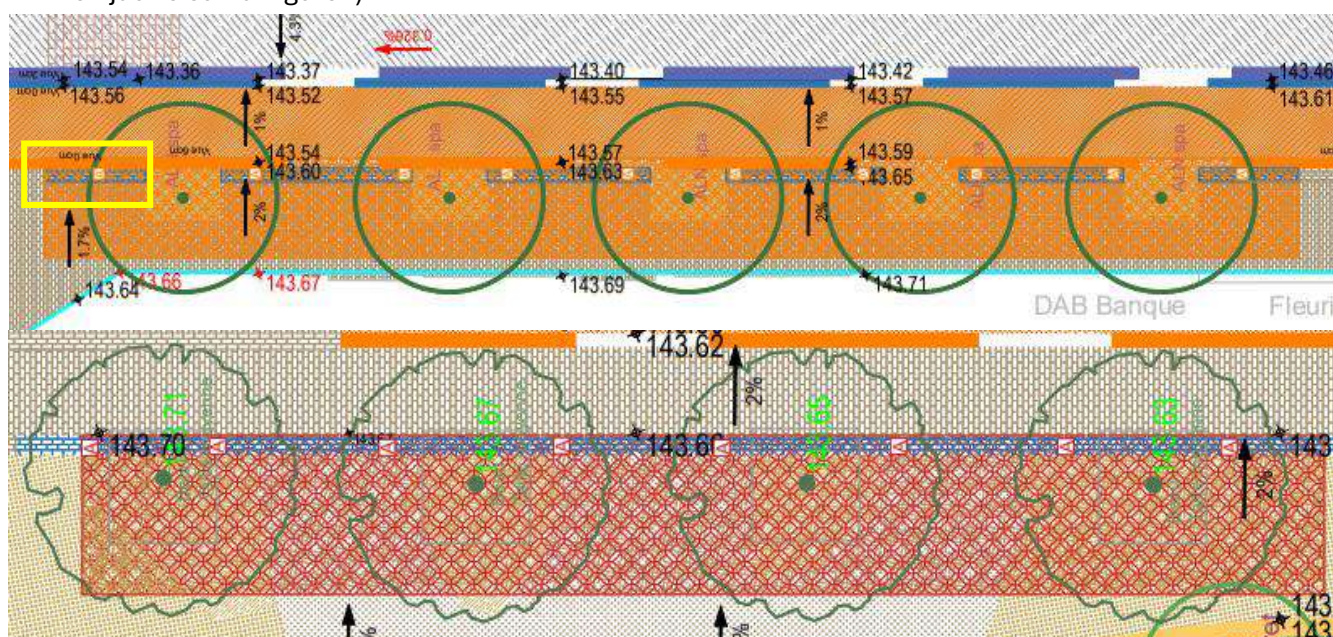


Figure.. : Spatialisation des joints perméables au niveau des Permavoid 85 et 150. Pour rappel, le système Permavoid 85 est représenté en orange, tandis que le Permavoid 150 apparaît en rouge.

Ainsi, l'analyse des éléments extérieurs au dispositif Permavoid permet de mieux anticiper les variations potentielles de ses résultats. En effet, nous savons désormais qu'un arbre peut recevoir une quantité d'eau moindre par rapport à un autre en raison de plusieurs facteurs : le nivellement du terrain, la méthode de collecte utilisée ainsi que sa localisation. Par exemple, les essences présentes sur le système Permavoid 150 ne bénéficieront que du ruissellement provenant de la place du métro, tandis que celles implantées sur le Permavoid 85, avenue Albert Bedouce, profiteront du ruissellement en amont de l'avenue et recevront ainsi potentiellement plus d'eau.

En complément, deux méthodes de récupération des eaux pluviales seront testées sur un même type de dispositif, à savoir le Permavoid 85, installé hors de la place du métro et sur celle-ci. Cette approche permettra de comparer l'efficacité des deux stratégies de collecte dans le contexte du projet.

Toutefois, afin d'évaluer pleinement l'impact des différents systèmes Permavoid sur la végétation locale, il est nécessaire de concevoir un protocole précis. Pour ce faire, nous nous appuierons sur les études et méthodologies existantes issues de la littérature scientifique.

Etudes et méthodes présentées dans la littérature

Approches et méthodes d'évaluation de la santé des arbres en milieu urbain

Les arbres urbains sont au cœur de notre projet. Grâce à l'innovation du système Permavoid, nous espérons renforcer leurs bienfaits pour la société et l'environnement, alors qu'ils sont aujourd'hui fortement menacés par les conflits d'usage souterrains et l'imperméabilisation des sols. De nombreuses études menées à travers le monde ont cherché à identifier les facteurs permettant de suivre l'état de santé des arbres en milieu urbain. Dans le contexte de cet écrit, ces facteurs nous permettront d'étudier les effets du Permavoid sur chaque essence d'arbres citées précédemment.

L'étude de Xiaoyang Tan et Shozo Shibata [1] s'inscrit dans cette démarche en analysant les effets de la morphologie urbaine sur la santé des arbres, à travers une étude de cas menée à Kyoto, au Japon.

Dans cette étude, plusieurs variables à différentes échelles ont été définies pour évaluer et comprendre l'état de santé des 1 230 arbres sélectionnés². D'une part, les auteurs ont recueilli des données liées aux arbres et à leur environnement afin d'étudier l'influence du milieu sur leur état de santé. D'autre part, ils ont analysé des variables propres aux arbres, notamment leurs caractéristiques physiques. Ci-dessous sont présentés les facteurs identifiés dans l'étude, relatifs aux arbres et à leur environnement, et susceptibles d'influencer leurs conditions de croissance :

1. Informations sur l'arbre

- **Espèce** : Identification de l'arbre étudié.
- **Diamètre du tronc** :
 - À 1,37 m au-dessus du niveau du sol.

² L'échantillonnage a été conçu afin d'intégrer toutes les espèces présentes dans les zones urbaines les plus densément développées et exposées à diverses contraintes.

- Pour les arbres à plusieurs troncs : jusqu'à six troncs de diamètre $\geq 2,54$ cm mesurés séparément.
- Si l'arbre possède plus de six troncs, un seul diamètre est mesuré à 30,5 cm de hauteur.
- **Hauteur totale de l'arbre** : Mesurée en mètres.
- **Informations géographiques** : Emplacement et coordonnées GPS.

2. Caractéristiques du paysage urbain

- **Présence d'une piste cyclable dédiée** : Identification des infrastructures pour vélos.
- **Classification de l'usage du sol adjacent** : Résidentiel, commercial, industriel, espaces verts, etc.
- **Catégorie de route** :
 - **Route large** (> 4 voies).
 - **Route moyenne** ($2 < \text{voies} \leq 4$).
 - **Route étroite** (≤ 2 voies).

3. Site de plantation

- **Type de fosse d'arbre** : Fosses d'arbre individuelle, bande de plantation
- **Modèle de fosse d'arbre** : Nu, béton, parterre fleuri, herbe, arbustes, etc.
- **Présence de grille ou de protection de l'arbre** : Grille métallique, protection en bois ou autre.
- **Exposition lumineuse de la couronne** :
 - Classifiée sur une échelle de 0 à 5.
 - L'évaluation prend en compte cinq directions : nord, sud, est, ouest et vers le haut
- **Obstructions dans un rayon de 2 m** :
 - Panneaux de signalisation.
 - Câbles électriques et télécoms aériens.
 - Équipements urbains et autres obstacles au sol.

4. Conditions contraignantes

- **Intensité de la taille** : Évaluée selon trois niveaux
 - Taille légère.
 - Taille modérée.
 - Taille sévère.
- **Taille de la fosse d'arbre** : Surface mesurée en m^2 .

- **Largeur du trottoir :** Mesurée en mètres pour évaluer l'espace de croissance disponible. Les mesures sont basées sur trois scénarios :
 - (a) Fosse d'arbre de longueur 1,5 m avec largeur variable ($\leq 1,5$ m).
 - (b) Fosse d'arbre de longueur 1,8 m avec largeur variable ($\leq 1,8$ m).
 - (c) Bande de plantation de largeur 1 m avec longueur variable ($\geq 2,5$ m).

Ensuite, pour évaluer la santé physique des arbres, les chercheurs se sont appuyés sur divers critères issus d'une méthode reconnue comme référence dans l'évaluation de l'état des arbres par le Centre japonais de recherche et de développement sur la verdure. Cette approche est largement utilisée au sein des institutions de recherche et repose sur douze paramètres d'analyse :

- 1. Vigueur de l'arbre :** État général de croissance et de vitalité de l'arbre.
- 2. Densité des branches et du feuillage :** Évaluation du volume et de la répartition des branches et des feuilles.
- 3. Couleur des feuilles :** Indicateur de la santé physiologique de l'arbre (vert vif, jaunissement, brunissement).
- 4. Dommages à la partie inférieure de la couronne :** Détection des blessures, cassures ou pertes de feuillage dans la partie inférieure.
- 5. Dommages ou dégradation de l'écorce :** Présence de fissures, cavités, champignons ou signes de pourriture.
- 6. Taille des feuilles ou des bourgeons :** Comparaison avec la taille normale pour évaluer la croissance et le stress environnemental.
- 7. Dommages à la partie supérieure de la couronne :** Évaluation des branches supérieures affectées par des conditions climatiques ou maladies.
- 8. État de la base du tronc :** Vérification des fissures, gonflements ou anomalies affectant la stabilité du tronc.
- 9. Métabolisme de l'écorce :** Signes de régénération ou détérioration de l'écorce.
- 10. Quantité d'extension des branches :** Mesure de la croissance annuelle des rameaux pour évaluer la dynamique de développement.
- 11. Présence ou absence de rejets du tronc et de la :** Observation des drageons ou pousses qui peuvent être des réponses à un stress ou un signe de vigueur.
- 12. Forme de l'arbre :** Conique, arrondi, colonnaire, étalé, irrégulier

D'après l'étude, chaque paramètre a été évalué selon une échelle de cinq niveaux, allant de 0 (meilleur état) à 4 (pire état). Les critères d'évaluation à chaque niveau sont définis par des caractéristiques visuelles précises des arbres. L'évaluation de l'état des arbres a été réalisée par une seule personne, qui a observé chaque arbre depuis le niveau du sol et sous plusieurs angles.

Le calcul du score de santé des arbres s'appuie sur la formule suivante :

$$H = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{11} h_i}{44}\right) \times 100, \quad \text{où } h_i \text{ représente le score attribué à chaque critère individuel, et } H \text{ correspond au score global de santé de l'arbre.}$$

Cette méthode permet d'obtenir une évaluation standardisée et quantifiable de la condition des arbres en milieu urbain.

Enfin, à la suite d'une régression linéaire et d'une analyse statistique, Xiaoyang Tan et Shozo Shibata ont identifié onze paramètres externes aux arbres ayant un impact significatif sur leur état de santé. Classés par ordre d'influence décroissante, ces facteurs sont les suivants :

1. Intensité de la taille de l'arbre
2. Taille de la fosse d'arbre
3. Usage du sol adjacent
4. Présence ou absence de grille ou de protection d'arbre
5. Largeur du trottoir
6. Hauteur de l'arbre
7. Présence ou absence de piste cyclable dédiée
8. Modèle de la fosse d'arbre
9. Exposition lumineuse de la couronne
10. Diamètre à hauteur de poitrine du tronc
11. Type de fosse d'arbre

Cette classification avancée dans cette étude permet de mieux comprendre les interactions entre l'environnement urbain et la santé des arbres.

Une autre approche pour évaluer la santé des arbres a été développée par des chercheurs de l'Université Polytechnique de Hong Kong [2]. Cette approche innovante exploite divers types de données de télédétection afin d'analyser l'état sanitaire des arbres situés sur l'île de Hong Kong et la péninsule de Kowloon. Trois principales sources de données ont été utilisées :

- **Imagerie aérienne multispectrale** : Capturée par une caméra numérique, cette imagerie permet d'étudier la santé des arbres en analysant leurs propriétés spectrales.
- **Données LiDAR aéroportées** : Elles facilitent l'examen des changements de structure des arbres ciblés et permettent une cartographie précise de la hauteur et de la densité du couvert végétal.
- **Données LiDAR terrestres** : Relevées à l'aide de scanners laser portatifs et dorsaux, ces données permettent d'évaluer les impacts climatiques sur la structure des arbres en milieu urbain.

Cette approche rejoint les travaux de Xiaoyang Tan et Shozo Shibata [1], qui ont identifié des paramètres essentiels pour évaluer la santé des arbres. Dans l'étude basée sur les données de télédétection [2], des relevés de terrain—tels que l'identification des arbres, leurs coordonnées géographiques, la densité et la couleur du feuillage, ainsi que la proportion de la couronne—sont utilisés afin de vérifier la fiabilité des images satellitaires. Ces mêmes paramètres ont été avancés par Xiaoyang Tan et Shozo Shibata [1] pour leur évaluation visuelle, confortant ainsi l'idée qu'ils sont déterminants pour juger de la santé d'un arbre.

L'évaluation proposée par Xiaoyang Tan et Shozo Shibata [1] demeure néanmoins fortement dépendante du point de vue de l'évaluateur. C'est pourquoi l'utilisation de données de télédétection multi-sources vise à affiner le diagnostic en permettant d'identifier précisément la structure de chaque arbre. De plus, cette technologie permet de détecter, au fil du temps, des modifications imperceptibles, retraçant ainsi l'évolution de la structure des arbres à différentes périodes à l'aide de nuages de points 3D réalistes [2].

Cependant, la télédétection présente certaines limites. L'article souligne notamment que les satellites devraient fournir des données plus précises afin de mener des études au cas par cas, comme dans le cadre de notre protocole de suivi. Il a été déterminé qu'une densité minimale de 10 points/m² est requise pour identifier les arbres individuels en milieu urbain, tandis qu'une densité de 30 à 40 points/m² est nécessaire pour la végétation secondaire à Hong Kong [2]. De manière générale, plus le nombre de points de balayage par mètre carré est élevé, meilleure est la qualité des résultats obtenus.

Ainsi, ces deux études [1] [2] contribuent à affiner les données initiales de notre protocole de suivi, en enrichissant l'analyse et en renforçant la précision des critères d'évaluation. Bien que la télédétection ne soit pas pleinement adaptée à notre projet, cette étude confirme néanmoins la pertinence des facteurs d'évaluation proposés par Xiaoyang Tan et Shozo Shibata [1]. Elle met en évidence la nécessité de faire appel à un expert maîtrisant les spécificités de chaque essence d'arbre selon la saison, afin d'affiner l'analyse visuelle. Par ailleurs, il est essentiel de prendre en compte les éléments liés à la morphologie urbaine pour mieux appréhender la situation de chaque espèce.

Cependant, comme les facteurs mentionnés ci-dessus proviennent de deux recherches menées en Asie, il est possible qu'ils soient spécifiquement adaptés aux essences arboricoles asiatiques. Afin d'assurer une rigueur scientifique optimale dans notre démarche, nous avons également exploré une méthode de diagnostic visuel reconnu en Europe afin de valider ces paramètres. Le mémoire de fin d'études de Pierre Parpay-Vaucelles [3] recense plusieurs études et méthodes de diagnostic issues de la littérature, notamment une approche permettant d'analyser le langage corporel de l'arbre. La procédure du "Visual Tree Assessment" (VTA), développée par le Dr Claus Mattheck en 1993, est synthétisée dans le schéma suivant :

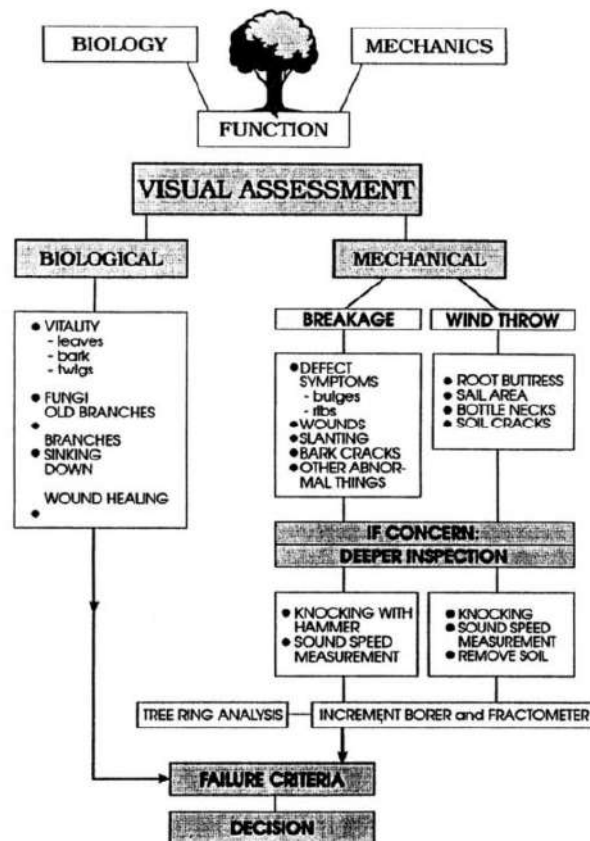


Figure.. : Schéma de déroulement d'un diagnostic VTA [3]

Ainsi nous pouvons observer des regroupements entre les critères d'évaluation proposés par Mattheck [3] et ceux définis par Xiaoyang Tan et Shozo Shibata [3]. Afin de structurer et synthétiser ces critères de manière cohérente, nous avons adopté la nomenclature suivante :

Critère dans l'étude de Xiaoyang Tan et Shozo Shibata : critère(s) de Mattheck correspondant

1. **Vigueur de l'arbre** : Vitalité des feuilles, de l'écorce et des branches (*Vitality*), champignons sur vieilles branches (*Fungi on old branches*)
2. **Densité des branches et du feuillage** : Vitalité des feuilles, de l'écorce et des branches (*Vitality*)
3. **Couleur des feuilles** : Vitalité des feuilles, de l'écorce et des branches (*Vitality*)
4. **Dommmages à la partie inférieure de la couronne** : Branches s'enfonçant (*Branches sinking down*), Blessures (*Wounds*), Champignons sur vieilles branches (*Fungi on old branches*) et Guérison des blessures (*Wound healing*)
5. **Dommmages ou dégradation de l'écorce** : Fissures de l'écorce (*Bark cracks*), Symptômes de défauts (*Defect symptoms*)
6. **Taille des feuilles ou des bourgeons** : Vitalité des feuilles, de l'écorce et des branches (*Vitality*)
7. **Dommmages à la partie supérieure de la couronne** : Surface exposée au vent (*Sail area*) et vitalité des feuilles, de l'écorce et des branches (*Vitality*)

8.État de la base du tronc : fissures du sol (*Soil cracks*), racines et contreforts (*Roots buttress*), collets (*Bottle necks*) et inclinaison (*Slanting*)

9.Métabolisme de l'écorce : Guérison des blessures (*Wound healing*), blessures (*Wounds*), symptômes de défauts (*Defect symptoms*) et fissures de l'écorce (*Bark cracks*)

10.Quantité d'extension des branches : Vitalité des feuilles, de l'écorce et des branches (*Vitality*)

11.Présence ou absence de rejets du tronc et de la couronne : Vitalité des feuilles, de l'écorce et des branches (*Vitality*)

12.Forme de l'arbre : Conique, arrondi, colonnaire, étalé, irrégulier

En conclusion, d'après la revue de littérature, les paramètres à prendre en compte lors du diagnostic d'un arbre peuvent être regroupés selon une approche d'observation progressive, allant du sommet jusqu'aux racines [1] [2] [3]:

Catégorie	Points à observer
Forme de l'arbre	Conique, arrondi, colonnaire, étalé, irrégulier
Vigueur de la couronne	Vitalité de la couronne en général ➤ Présence ou absence de rejets de la couronne (observation de drageons ou de pousses qui peuvent être des réponses à un stress ou un signe de vigueur) Vitalité des feuilles ➤ Densité du feuillage (évaluation du volume et de la répartition des feuilles) ➤ Couleur des feuilles (vert vif, jaunissement, brunissement) ➤ Taille des feuilles et des bourgeons (comparaison avec la taille normale pour évaluer la croissance et le stress environnemental) ➤ Autres anomalies Vitalité des branches ➤ Densité des branches (évaluation du volume et de la répartition des branches) ➤ Quantité d'extension des branches (mesure de la croissance annuelle des rameaux pour évaluer la dynamique de développement) ➤ Présence de champignons sur les branches ➤ Blessures ➤ Si blessures observées : Guérison des blessures ➤ Branches s'enfonçant ➤ Évaluation des branches supérieures affectées par des conditions climatiques ou maladies (surface exposée au vent) ➤ Autres anomalies
Vigueur du tronc	Vitalité de l'écorce/tronc ➤ Présence ou absence de rejets du tronc (observation de drageons ou de pousses qui peuvent être des réponses à un stress ou un signe de vigueur) ➤ Inclinaison Dommages ou dégradation de l'écorce/tronc (blessures) ➤ Fissures de l'écorce ➤ Autres anomalies (détérioration de l'écorce, sève suintante, cavité, champignon etc.) Métabolisme de l'écorce ➤ Si blessures observées : guérison des blessures (signes de régénération) Etat de la base du tronc ➤ Racines et contreforts ➤ Collet (étranglement du tronc)

	➤ Fissures du sol ➤ Blessures ➤ Guérison des blessures ➤ Autres anomalies (gonflements ou anomalies affectant la stabilité du tronc)
--	---

Table .. : Paramètres à prendre en compte dans notre protocole de suivi afin d'établir le diagnostic d'un arbre

Selon la méthode VTA, une analyse approfondie de l'arbre s'avère nécessaire dès qu'un défaut est identifié. Plusieurs outils permettent alors de confirmer les hypothèses issues du diagnostic: le marteau classique, le marteau à impulsion (évaluation acoustique des défauts), le pénétromètre et les foreuses (examen par forage), ainsi que la tarière, qui permet d'extraire une carotte de bois pour analyse. Chacun de ces instruments possède ses spécificités et s'adapte à différentes situations d'évaluation. [3]

Par ailleurs, les deux revues de littérature consultées soulignent l'importance de prendre en compte l'environnement de l'arbre dans le processus diagnostique. Cette approche globale permet de mieux apprécier les défauts observés et d'évaluer leur impact potentiel sur la stabilité et la santé de l'arbre. [1] [3]

De plus, l'article de Xiaoyang Tan et Shozo Shibata [1] identifie les principaux paramètres influençant la croissance et la santé des arbres en milieu urbain. En première position, nous retrouvons l'intensité de la taille de l'arbre. Cependant, dans le cadre de l'élaboration du protocole de suivi, ce paramètre n'est pas véritablement à considérer. En effet, il est possible de simplement préconiser une quantité de coupe adaptée, effectuée à la période idéale pour chaque essence présente dans le projet, afin d'optimiser leur santé.

En revanche, en deuxième position, la taille de la fosse joue un rôle majeur dans la vitalité des arbres. Une fosse de dimensions optimales permet aux racines de se développer librement tout en bénéficiant d'un substrat suffisamment riche et d'un espace adéquat. Une taille optimale garantit ainsi aux arbres un accès aux ressources essentielles telles que les minéraux et l'eau. Or, en milieu urbain, les fosses d'arbres sont fréquemment en conflit avec les réseaux souterrains, ce qui limite leur taille. De plus, l'imperméabilisation des surfaces entrave leur irrigation naturelle.

C'est ici que le système de caissons alvéolaires prend tout son sens. Comme mentionné précédemment, ce dispositif permet non seulement d'optimiser les échanges gazeux entre la surface et le sous-sol, mais aussi d'améliorer l'irrigation de la végétation locale. Il constitue ainsi un levier efficace pour pallier la réduction de la taille des fosses, un facteur aggravant de la santé des arbres en milieu urbain.

Ainsi, dans le cadre de notre protocole de suivi, il serait également essentiel de suivre l'évolution des Permavoids afin de mieux comprendre pourquoi certains arbres présentent une santé moindre par rapport à d'autres.

Le protocole de suivi s'articulera donc en trois étapes :

1. Une première phase consistera à examiner les facteurs physico-chimiques présents dans le sol, au sein du Permavoid et de son environnement immédiat.
2. Une seconde phase observera la réaction des arbres à ces différents facteurs, en comparant ceux alimentés par le Permavoid à ceux qui n'en bénéficient pas. Cette analyse s'appuiera notamment sur les critères visuels mis en avant dans la Table ..

3. En cas de différences observées entre deux arbres de la même essence, il sera nécessaire d'analyser la morphologie de l'environnement urbain avoisinant, en se basant sur les critères définis par Xiaoyang Tan et Shozo Shibata. Ces éléments pourraient contribuer à expliquer ces variations (3^{ème} facteur extérieur influençant le plus l'état général de l'arbre) [1]

Ce processus nous permettra de déterminer si le système Permavoid est réellement efficace dans les conditions projetées et pour des essences d'arbres spécifiques.

Expérimentations et recherches sur le système Permavoid

Le concept de matelas à répartition de charge, connu sous le nom commercial de Permavoid, est relativement récent. Par conséquent, la littérature scientifique ne propose que peu d'études permettant d'établir un protocole standardisé, en particulier dans le domaine de l'aménagement urbain, ce qui confère à cet écrit son caractère innovant. Jusqu'à présent, seules des expérimentations et analyses ont été menées pour démontrer ses capacités drainantes, mais aucune recherche scientifique n'a encore prouvé ses effets sur la végétation.

L'étude menée par Ali Tasalloti et al. [4] examine un nouveau système de drainage ferroviaire basé sur la technologie Permavoid. Pour évaluer ses capacités hydrauliques, deux approches ont été testées : un modèle physique et un modèle numérique avec une simulation de précipitations.

La seconde étude porte sur la performance hydraulique de revêtements expérimentaux, dont deux intègrent le système Permavoid [5]. Cette analyse repose sur la simulation de précipitations et la mesure de l'écoulement de l'eau dans les drains de sortie.

Contrairement aux études précédentes [1] [2] [3], notre intérêt ne porte pas sur les résultats de ces expérimentations, qui visent principalement à démontrer les capacités drainantes du Permavoid. En revanche, les méthodes et les outils utilisés sont essentiels pour notre recherche. En effet, les dispositifs développés dans ces études [4] [5] pourraient nous permettre de suivre les évolutions physico-chimiques du Permavoid et de son environnement afin de mieux comprendre les réponses de la végétation. Les deux documents étudiés ont chacun mené des expériences sur le Permavoid 150.

D'une part, Ali Tasalloti et al. [4] ont utilisé un total de 13 capteurs de pression interstitielle et tubes piézométriques (utilisation de l'effet piézoélectrique des capteurs). Les capteurs de pression interstitielle permettent de mesurer la pression des fluides présents dans les pores d'un sol ou d'une matrice rocheuse. Ils se composent généralement des éléments suivants :

- **Élément de détection** : Composant central qui réagit à la pression du fluide, généralement sous la forme d'un diaphragme ou d'un cristal piézoélectrique.
- **Transducteur** : Transforme la pression mécanique en signal électrique.
- **Boîtier** : Assure la protection des composants internes et garantit la résistance du capteur aux conditions environnementales difficiles.
- **Câblage** : Permet la transmission du signal électrique vers un système d'acquisition de données pour le suivi et l'analyse.

Une fois installé dans le sol, le capteur enregistre la pression exercée par le fluide à l'intérieur des pores. Une pression interstitielle stable sur une longue période, sans fluctuations notables, peut indiquer une stagnation du fluide, impliquant une circulation faible ou inexistante. À l'inverse, des

variations de pression interstitielle sont souvent le signe d'un déplacement du fluide, provoqué par des processus d'infiltration, de drainage ou d'écoulement sous l'effet de gradients hydrauliques.

<https://www.althensensors.com/fr/capteurs/capteurs-de-pression/capteurs-de-pression-interstitielle/>

Comme mentionné précédemment, les auteurs ont également testé un modèle numérique, le modèle de Van Genuchten, afin de caractériser les propriétés hydrauliques des sols non saturés. Ce modèle permet d'établir la relation entre la succion et le degré de saturation du sol. Autrement dit, il aide à comprendre comment l'eau est retenue dans un sol en fonction de la pression qui s'exerce sur elle, et ainsi à prédire la circulation et l'accumulation de l'eau dans le sol [4]. Toutefois, bien que la concordance entre le modèle numérique et les données expérimentales ait été jugée satisfaisante, il serait préférable, dans le cadre de cette étude, de se baser sur des valeurs expérimentales plutôt que sur des données théoriques, afin d'assurer une fiabilité maximale.

D'autre part, B. Chaddock et M. Nunn [5] ont mesuré l'humidité du sol après une simulation de précipitations. À cette fin, des sondes Theta (Figure..) ont été utilisées pour déterminer la teneur en humidité du sol. Ces sondes ont été connectées à un enregistreur de données Campbell CR1000, qui a échantillonné leur sortie de tension chaque minute, avant d'enregistrer une moyenne toutes les 30 minutes. Des formules ont ensuite été appliquées pour convertir la sortie de tension des sondes en teneur en humidité, lesquelles sont détaillées dans le document PDF de l'étude à la page 56.

D'après la fiche technique ThetaProde (disponible dans le dossier)

Pour mesurer l'humidité du sol, il suffit d'insérer la sonde, de la connecter à un enregistreur de données ou à un appareil de mesure, puis de l'alimenter avec une tension de 5 à 15V DC à 20mA. En quelques secondes, les mesures d'humidité seront disponibles.

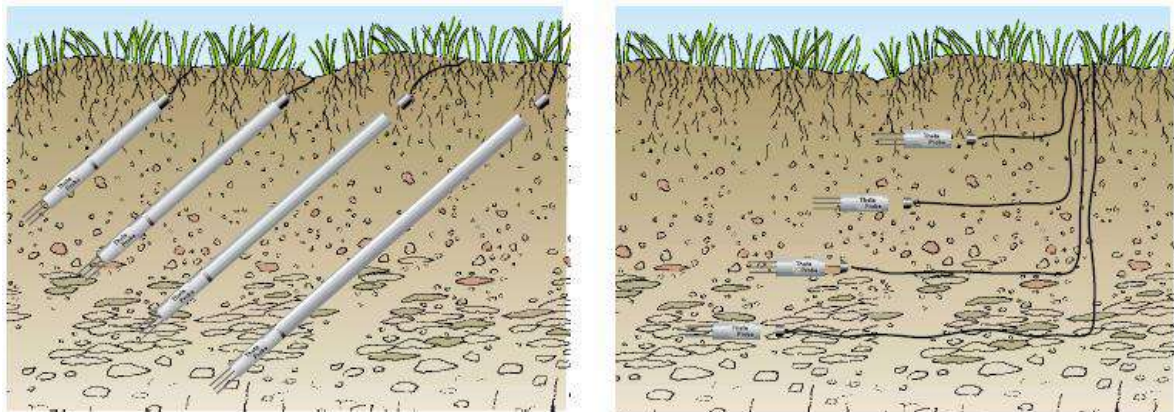


Figure .. : Schéma de la sonde ThetaProde

Ainsi, les deux études analysées ont mis en œuvre des dispositifs distincts pour mesurer un même paramètre : la teneur en eau et son comportement dans le sol, au fil du temps. Cependant, le capteur de pression interstitielle et la sonde Theta sont conçus pour être enterrés dans le sol. Or, dans le cadre de l'utilisation du système Permavoid, il serait pertinent d'examiner la présence d'eau directement au sein de cette structure.

D'après Richard Faleschini, responsable développement commercial chez Permavoid France

C'est dans ce contexte que le dispositif SMARTdata intervient. Ce système, développé par la société Permavoid, composé de capteurs de niveau d'eau (Figure..), de sondes hygrométriques et d'un contrôleur, permet un suivi en temps réel du niveau d'eau dans la structure Permavoid ainsi que du taux d'humidité dans le substrat (Figure..). Les capteurs de niveau d'eau, idéalement placés à proximité des regards d'accès et de gestion, offrent une mesure précise des volumes d'eau collectés et stockés dans la structure. Ils permettent également de suivre les volumes restitués au substrat par remontée capillaire ou évacués par surverse.

Les sondes hygrométriques, positionnées par paire à différentes profondeurs (adaptées à la hauteur du substrat), assurent le suivi du bon fonctionnement de la remontée capillaire ainsi que du drainage optimal, garantissant ainsi la stabilité de l'humidité dans le substrat.

Grâce à la mesure du niveau d'eau dans la structure, le dispositif permet d'alerter le gestionnaire sur les périodes nécessitant un apport en eau. Ce dernier peut être réalisé manuellement, soit par remplissage de la structure à l'aide d'un tuyau d'arrosage, soit par ouverture d'une vanne lorsque la structure est directement reliée à un réseau d'eau potable.



Figure .. : illustrations du capteur de niveau d'eau et du capteur d'humidité dans le sol développé par Permavoid.

Ainsi, le dispositif SMARTdata remplit une double fonction : il permet de mesurer le niveau d'eau au sein du Permavoid ainsi que d'évaluer la teneur en humidité grâce à deux dispositifs distincts. Par ailleurs, notre revue de littérature [4] [5] préconise le suivi de l'humidité du sol au fil du temps afin d'analyser le fonctionnement du système. Ces travaux viennent ainsi renforcer la pertinence de mesurer ce facteur dans le cadre de notre suivi.

En conclusion, dans le cadre de notre étude, l'implantation des capteurs pourrait être envisagée à des emplacements stratégiques : dans la couche de sable située entre les plantations et le Permavoid afin d'étudier les remontée capillaire (voir Figure..), à l'intérieur même du Permavoid (à une hauteur à définir) et en dessous, directement dans le substrat.

Protocole envisagé

- Reconnaissance de chaque arbre
- Capteurs (à définir lequel) d'humidité
- Capteur niveau d'eau
- Réponse des essences après X temps : diagnostic des arbres (Voir Table)
- Comparaison des arbres

Références

Pour l'état de l'art

(Elles sont à mettre dans la bonne nomenclature)

[1] Factors influencing street tree health in constrained planting spaces

[2] Urban tree health assessment using multifaceted remote sensing

[3] 2023_PARPAY_Pierre_IEVU

[4] Geocellular railway drainage systems_Physical and numerical modelling

[5] Transport Research Laboratory - A pilot-scale trial of reservoir pavements for drainage attenuation_unlocked



POLYTECH
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Marlène GAILLARD
2024-2025

Stage de fin d'études : maîtrise d'œuvre en aménagement urbain

Résumé :

Durant ces quatre mois et seize jours passés au sein de SUEZ Consulting, mon travail s'est articulé autour de deux grands volets : d'une part, une immersion dans la maîtrise d'œuvre « classique » en aménagement urbain, et d'autre part, une mission tournée vers l'innovation, à travers l'élaboration d'un protocole de suivi pour un dispositif expérimental. Cette complémentarité m'a permis de découvrir la diversité des missions d'ingénierie, tout en prenant part à des projets concrets et stratégiques pour l'entreprise.

Chacune des tâches qui m'ont été confiées a donné lieu à une production concrète, et a toujours été accompagnée d'un temps de réflexion, de remise en question méthodologique et d'analyse critique du travail accompli. Ce rapport retrace les principales missions réalisées durant mon stage, en mettant en lumière l'approche adoptée pour chacune, ainsi que les enseignements que j'en ai tirés.

J'ai eu la chance de pouvoir m'investir dans des projets à des phases et de nature très variées, ce qui m'a offert une vision globale du déroulement d'un projet d'aménagement urbain. Sur le plan technique, ce stage m'a permis de consolider mes connaissances en Voirie et Réseaux Divers (VRD), un domaine essentiel dans l'ingénierie urbaine, tout en approfondissant des compétences acquises au cours de ma formation à Polytech Tours. Sur le plan relationnel, ce stage m'a permis de comprendre le rôle du maître d'œuvre au sein d'intervenants aux profils variés.

Abstract:

During the four months and sixteen days I spent at SUEZ Consulting, my work focused on two main areas: on the one hand, an immersion in traditional project management in urban development; on the other hand, a mission oriented towards innovation, through the development of a monitoring protocol for an experimental device. This dual approach allowed me to explore the diversity of engineering roles while contributing to concrete and strategic projects for the company.

Each task assigned to me led to a tangible deliverable and was always accompanied by time for reflection, methodological review, and critical analysis of the work carried out. This report presents the main missions I worked on during my internship, highlighting the approach adopted for each and the lessons learned.

I had the opportunity to be involved in projects at various stages and of different natures, which gave me a comprehensive understanding of how an urban development project unfolds. From a technical perspective, this internship allowed me to strengthen my knowledge in utility networks and urban infrastructure, a key field in urban engineering, while deepening skills acquired during my studies at Polytech Tours. From a relational standpoint, it also helped me understand the role of the project manager within a multidisciplinary team of stakeholders.

Mots Clés : maîtrise d'œuvre / aménagement urbain / rédaction / plans / analyse / suivi expérimental / Permavoid

Suez Consulting/ SAFEGE

16 av. Charles de Gaulle, BALMA 31044

Tutrice entreprise :

Latifa DARRADI

Cheffe de Projet - Responsable du pôle Ouvrages hydrauliques

Tuteur académique :

José SERRANO

Professeur des universités Aménagement de l'espace et urbanisme