
Rapport de stage individuel

5^{ème} année

Étude d'aménagements cyclables sur le réseau
structurant métropolitain et réalisation d'un
guide sur les sols perméables en milieu urbain

Tours Métropole Val de Loire
1-3 rue des Minimes, 37000 Tours

Tuteur entreprise :
Éline Tatu
Chargée d'opération bureau d'études

Théodiric Magrenon
UIT/ITI
2021-2022

Tuteur académique :
Denis Martouzet

Table des matières

A.	Recherche et choix du stage	5
B.	Présentation de Tours Métropole et du service DGAAT	5
C.	Les missions effectuées, descriptif et moyens mis en œuvre.....	7
I.	Réalisation d'études sur l'aménagement des itinéraires vélos.....	7
1.	Itinéraires relevant du schéma cyclable de la métropole	7
a.	Travaux préliminaires	7
b.	Réalisation de propositions pour les itinéraires cyclables structurants 3 et 5..	10
2.	Itinéraires dits « secondaires »	16
II.	Réalisation d'un état de l'art sur les revêtements perméables	19
1.	Recherches bibliographiques préliminaires	19
2.	Synthèse et suppléments d'informations	20
III.	Participation et création d'outils de participation citoyenne	24
1.	Réalisation d'un questionnaire de satisfaction	24
2.	Participation à une balade urbaine	26
3.	Participation à une réunion publique	26
IV.	Réunions et création de fiches techniques	27
1.	Réalisation d'une fiche technique sur les giratoires hollandais	27
2.	Participation à des réunions, dont certaines entre techniciens et élus	28
3.	Apprentissage de termes techniques	28
D.	Analyse de mes missions / retour d'expériences	28
I.	Ce que mes missions m'ont appris	28
1.	Le contact avec divers interlocuteurs	28
2.	Un apprentissage avancé des problématiques cyclables urbaines	29
3.	Synthétisation et mise en forme des informations	30
4.	Un développement des termes techniques	30
5.	Un apprentissage des problématiques de revêtements perméables	31
II.	Les compétences que j'ai pu développer et mettre à profit.....	31
III.	Mes marges de progression	31
IV.	Ressentis sur l'activité et ma future activité professionnelle	32
	Annexes.....	35

Table des figures

Figure 1 : Carte du schéma directeur cyclable de la métropole de Tours. Source : Tours Métropole	7
Figure 2: règlementation des différentes signalisations horizontales. «u» signifie la largeur de la ligne et dépend du trafic routier. Il est environ de 5 en milieu urbain. Source : capi-agglo.fr	9
Figure 3 : tableau récapitulatif du comptage personnel effectué le 15 mars 2022 aux heures de pointes.	11
Figure 4 : Exemple type de profil en travers réalisé.....	13
Figure 5 : tableau synthétisant les différents propositions concernant la rue Palissy.	13
Figure 6 : Exemple de présentation d'une proposition, détaillant les motivations d'un tel aménagement et ces possibles conséquences négatives.	14
Figure 7 : Création d'une vue de dessus pour expliquer plus clairement les propositions.....	15
Figure 8 : Insertion visuelle avec vue en perspective de proposition.	15
Figure 9 : Plan de situation pour mieux appréhender les principales problématiques du quartier.	17
Figure 10 : Diagnostic de certains secteurs.	18
Figure 11 : Représentation schématique des aménagements cyclables sur un itinéraire.	18
Figure 12 : Fiche récapitulative sur l'un des revêtements perméables présentés : le béton poreux.....	21
Figure 13 : Schéma montrant l'impact des racines sur les revêtements. Source : Trees&Design Action Group.....	22
Figure 14 : Schéma du système de Stockholm. Source : arbres-caue77.org.....	23
Figure 15 : Une fiche de la foire aux questions sur les revêtements perméables.....	24
Figure 16 : Exemple d'interrogation présente dans le questionnaire.....	25
Figure 17 : Fiche technique sur le giratoire hollandais comme outil d'aide à la décision.	27
Figure 18 : récapitulatif des compétences développées durant le stage ingénieur de cinquième année.....	33

Remerciements

En introduction de ce rapport de stage j'aimerais remercier chaleureusement ma tutrice Éline Tatu (chargée d'opérations) ainsi que Gérald Mossière (responsable du bureau d'études) de m'avoir encadré durant ces six mois. Leurs conseils pertinents et remarques avisées ont enrichi mon expérience et m'ont aidé à progresser dans les missions qui m'ont été confiées.

La confiance qui m'a été apportée fut très gratifiante et la bienveillance ressentie m'a permis de pleinement m'épanouir.

Je remercie également l'ensemble de mes collègues qui ont permis ma pleine intégration et qui m'ont épaulé durant le stage. Merci à Sébastien, Aurore, Christophe, Jean-François, Fabrice, Sylvie, Nathalie, Christopher, Philippe, Laurent, Sandrine et Pascaline.

Merci à mon tuteur pédagogique Monsieur Martouzet pour le suivi de mon stage.

A. Recherche et choix du stage

Lors de mon stage de quatrième année, une annonce portant sur l'élaboration du schéma cyclable dans la métropole de Bordeaux avait retenu mon attention. J'y avais candidaté mais la réponse fut négative en raison de la durée du stage non compatible avec les attentes de la collectivité territoriale.

Néanmoins, cette envie de travailler sur des sujets de mobilités douces dans une métropole était toujours présente pour ce stage de cinquième année. Ainsi, j'ai de nouveau entrepris la recherche de ce type de stage en commençant par la liste proposée en 2021 sur Célène. Je constatais qu'une annonce avait été postée par Tours métropole pour la réalisation de leur réseau cyclable structurant. Bien que Tours Métropole n'ait pas remis une annonce pour cette année, je décide d'effectuer une candidature spontanée. Celle-ci s'est avérée fructueuse puisqu'il m'a été confirmé que l'annonce était toujours valable pour cette année et qu'ils seraient ravis d'avoir un entretien afin de me présenter plus précisément les missions.

Ce choix de stage répond entièrement à ma volonté de découvrir deux nouveaux univers.

Le premier est celui des questions de mobilités dans une grande ville. Enjeu essentiel de la transition énergétique, la promotion des modes doux me paraît primordial à maîtriser et l'enrichissement culturel d'un tel stage me sera naturellement indispensable dans un futur emploi.

Le deuxième est celui du domaine public dans lequel je vais exercer mes missions. Mon stage de l'année dernière s'était déroulé dans un bureau d'études privé travaillant auprès de diverses municipalités à des fins de rédaction de plans réglementaires mais aussi dans des projets et réflexions urbanistiques. La vision du métier a donc été différente en travaillant sur plusieurs villes de tailles modestes et surtout avec des contraintes inhérentes à la pérennité d'un bureau d'études privé. La question économique est omniprésente ainsi que le fait de travailler sur plusieurs villes différentes à un rythme soutenu.

Par conséquent, l'envie de découvrir le travail en collectivité territoriale était forte. Elle me permettra de comparer les deux univers de travail (secteur privé – secteur public) et éventuellement d'avoir un avis plus clair sur mon devenir professionnel à la suite de mes études.

Un retour d'expérience et une comparaison avec le stage de l'année dernière seront détaillés dans la partie D de ce rapport.

Mon stage ingénieur commença le 7 février et se déroula sur une durée de 6 mois.

B. Présentation de Tours Métropole et du service DGAAT

Tours Métropole est un EPCI (établissement public de coopération intercommunale) créé le 1^{er} janvier 2000. D'abord constituée de neuf communes, elle regroupe désormais 22 villes situées autour de Tours. Le rang de « métropole » est institué en 2017. Tours métropole fait ainsi partie des 21 métropoles françaises et est la deuxième de la région Centre-Val de Loire derrière Orléans métropole en termes d'habitants.

Tours métropole a pour missions principales le développement économique, numérique, touristique, l'entretien des réseaux, la gestion des déchets, la mise en place de grands projets urbains et les problématiques de mobilité.

Les bureaux de la métropole sont répartis dans toute la ville avec une forte concentration dans le quartier des Deux-Lions. Cependant, le service dans lequel j'ai effectué mon stage (DGAAT : Direction Générale Adjointe Aménagement du Territoire) possède ses locaux au sein de la mairie de Tours.

La DGAAT s'occupe des problématiques d'aménagement du territoire sur le territoire de la ville de Tours exclusivement. Elle est donc un pont de discussion privilégié entre les acteurs de la ville de Tours et les acteurs de Tours Métropole.

La DGAAT est composée de trois entités :

- La brigade topographique, chargée d'effectuer des relevés topographiques sur l'ensemble de la ville afin d'alimenter les réflexions et les travaux du bureau d'études. Cette unité est essentielle et constitue le travail préliminaire à toutes les autres unités de la DGAAT.
- Les dessinateurs/projeteurs, chargés d'esquisser les projets de manière précise et technique. Ils ont une forte connaissance des contraintes techniques de la réalisation de projet et permettent de générer des plans sur lesquels les chargés d'études peuvent s'appuyer.
- Les chargés d'études, responsables du bon déroulement du projet. Ils prennent en compte les enjeux, les volontés politiques et la cohérence des aménagements du territoire. Ils sont chargés d'imaginer les solutions envisageables et de les proposer aux élus afin de faire un choix. Ils élaborent un calendrier de travaux et d'éventuelles concertations citoyennes.

En plus de ces entités, la DGAAT travaille régulièrement avec un architecte/paysagiste pour les questions de trames vertes dans les projets ainsi que l'équipe responsable des SIG (Système d'Information Géographique).

Mais la DGAAT ne travaille pas en autonomie de A à Z. L'aménagement du territoire à l'échelle d'une grande ville comme Tours est rempli de contraintes. Pour y faire face, la DGAAT travaille sur la quasi-totalité des projets avec d'autres services de la ville de Tours et de la Métropole. C'est le cas notamment des services de Voirie et Circulation qui sont primordiaux dans nombres de projets réfléchis par le bureau d'études ou bien encore la Direction Patrimoine Végétal et Biodiversité en raison des nombreux enjeux communs en milieu urbain. Mais les échanges entre services ne s'arrêtent pas là. En effet, certains projets nécessitent la mise en place de groupes de travail appelés comités techniques visant à définir les tenants et les aboutissants du projet. Ceci requiert donc d'avoir des informations de plusieurs natures (économiques, sociales, techniques...).

Bien entendu, la particularité de travailler au sein d'une collectivité territoriale est la proximité immédiate avec les élus. En effet, ce sont eux qui insuflent la stratégie d'aménagement du territoire sur la commune. Dans le cas présent, la nouvelle municipalité de Tours s'est fixée de considérables objectifs dans le déploiement d'un réseau cyclable ce qui explique ces projets importants sur lesquels j'ai pu travailler.

Récemment, la DGAAT a occupé un large champ d'intervention. Elle s'est occupée de la **rénovation ou la création d'espaces publics** (par exemple le nouvel aménagement sur les contre-allées de l'Avenue Grammont ou sur l'étude de prolongement de rues etc.), **l'aménagements d'abords d'équipements publics** (au travers de végétalisation d'espaces notamment), des études concernant **les infrastructures liées à la mobilité** (mise en accessibilité d'arrêts de bus, schéma cyclable), **installations d'équipements sportifs** ou encore **les études de réseaux** (gestion intégrée du ruissellement sur des projets).

Pendant six mois, j'ai eu l'occasion de rencontrer, d'échanger et de travailler avec de nombreuses personnes. Éline Tatu (chargée d'opérations) et Gérald Mossière (responsable du bureau d'études) m'ont particulièrement accompagné et m'ont fait part de leurs remarques au regard des différentes missions que j'ai pu mener.

C. Les missions effectuées, descriptif et moyens mis en œuvre

Dans cette partie, je vais présenter les différentes missions effectuées. Celle-ci comporte des explications sur le travail demandé, le contexte dans lequel il s'inscrit et les moyens dont j'ai bénéficié pour les atteindre. Dans le même temps, je détaillerai les méthodes de travail que j'ai mises en place pour les mener à bien ainsi qu'une présentation de mes réalisations.

I. Réalisation d'études sur l'aménagement des itinéraires vélos

1. Itinéraires relevant du schéma cyclable de la métropole

a. Travaux préliminaires

Avant de présenter mon travail concernant les itinéraires du schéma cyclable de la métropole, il est intéressant d'expliquer les raisons de la création de cet outil et de sa mise en place.

Il émane d'une volonté de doter la métropole d'un réseau cyclable de qualité et de développer la part modale du vélo sur le territoire. La réalisation du schéma directeur cyclable part, entre autre, du constat d'échec de l'objectif lancé par le PDU (Plan de Déplacements Urbains) en 2013 qui était d'atteindre 9 % de part modale vélo d'ici fin 2023. Il n'est actuellement que de 4 à 5 % et il était alors urgent de lancer un projet d'ampleur pour rattraper le retard pris sur d'autres métropoles françaises telle que Strasbourg qui est à 15% en centre-ville et 8% en agglomération. Depuis 2018, le Plan Vélo et Mobilités Actives lancé par la ministre chargée des transports Elisabeth Borne a pour objectif de tripler la part modale du vélo sur le territoire d'ici 2024. La principale mission et la sécurisation des déplacements (Plan Vélo et Mobilités Actives, 2018).

La métropole tourangelle a donc fixé la réalisation d'ici 2026 de 13 axes structurants à vélo au travers de chacune des communes de l'EPCI. Au total, ce sont 350 km d'itinéraires structurants qui seront développés et jusqu'à 1000 km si l'on y ajoute toutes les autres portions rendues cyclables (Figure 1). L'investissement global est évalué à près de 100 millions d'euros.

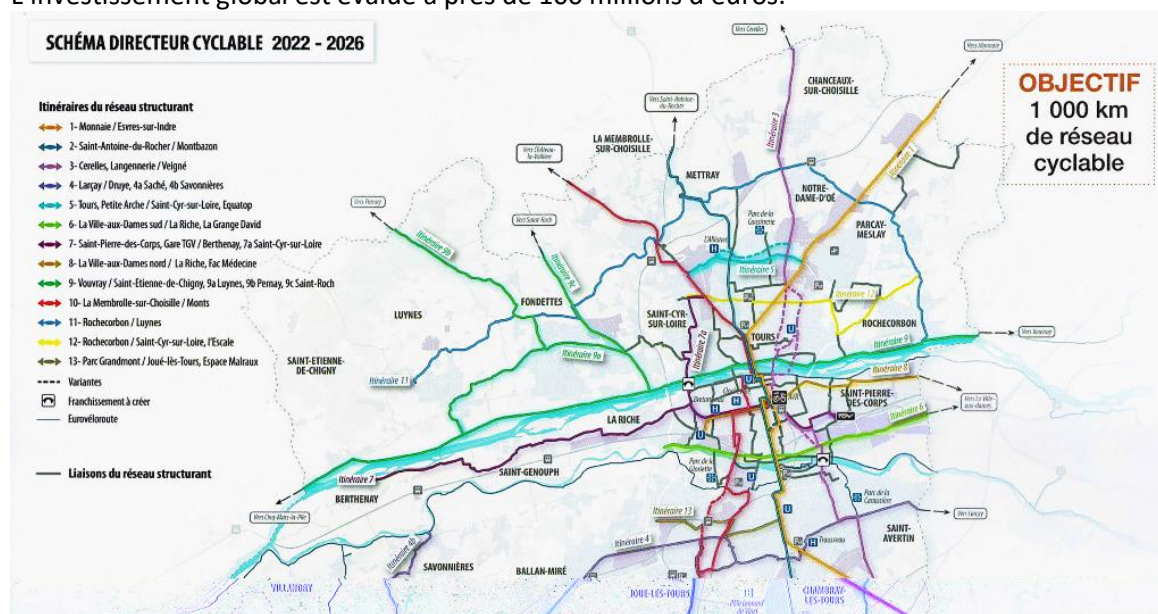


Figure 1 : Carte du schéma directeur cyclable de la métropole de Tours. Source : Tours Métropole

La DGAAT intervient uniquement dans la question des axes passant par la ville de Tours. J'ai eu l'occasion de travailler sur les itinéraires 3 et 5.

Le schéma directeur cyclable répond à des normes qui ont été définies dans le cadre de l'élaboration d'un référentiel technique. Ce référentiel spécifie notamment les types d'aménagements cyclables appropriés, les largeurs de ces derniers, les matériaux adéquats et d'autres détails permettant de faciliter la déambulation du cycliste. L'objectif est donc de s'approcher au maximum de ce référentiel.

Afin de me familiariser avec la culture « réseau vélo express », j'ai démarré ma mission par de nombreuses lectures et recherches.

Cette phase s'est déroulée en **4 étapes** :

- **Apprentissage des normes liées aux déplacements cyclables** (fiches Cerema, glossaire des types de signalisations etc.). J'ai pris connaissance de l'ensemble des aménagements cyclables existants en milieu urbain. Quel était le contexte nécessaire à leurs installations, leurs objectifs et leurs rôles dans les mobilités urbaines. Chaque aménagement possède des caractéristiques propres qu'il faut savoir maîtriser afin de faire les bons choix et d'assurer un service optimal aux cyclistes. Parmi ces aménagements certains sont très connus par les usagers : les bandes cyclables unidirectionnelles, les pistes cyclables unidirectionnelles ou bidirectionnelles ou bien encore les voies séparées de la chaussée. En revanche, les aménagements de chaucidou (chaussée pour les circulations douces), de giratoire à la hollandaise, de voies bus partagées, de contre-sens cyclables ou encore de vélorue sont moins explicites et ont nécessité davantage d'explications sur leur nature et leur fonctionnement (Hans Kremers, 2020). Ce sont des aménagements qui ne peuvent être utilisés correctement que dans certaines conditions liées à la voirie et au trafic de cyclistes/véhicules. La vélorue est un dispositif permettant aux cyclistes d'être prioritaires sur les voitures tout en s'accompagnant d'une réduction accrue du trafic des véhicules motorisés dans celle-ci. Ceci se réalise par le biais de changement de sens de circulation dans les rues adjacentes. Finalement, l'idée principale est d'avoir davantage de cyclistes que de véhicules motorisés sur le tronçon.

Au-delà de cette panoplie d'aménagements disponibles, il était nécessaire de m'informer et d'apprendre les dispositions réglementaires sur les sujets de signalisations des aménagements cyclables. Chaque aménagement est relié à des contraintes réglementaires. Cela peut être des panneaux spéciaux pour les cyclistes (M12 par exemple) ou bien encore une largeur et un espacement de signalisation au sol différent. Par exemple, les bandes cyclables sont délimitées par des rives de normes T3-5u (Figure 2) tandis que les chaucidoux ont des rives de type T2-3u (Figure 2) . Ces contraintes sont à connaître car elles sont très importantes au regard de la conception des projets. Il s'avère qu'un cas particulier a été recensé sur l'un des itinéraires sur lequel j'ai travaillé. Celui-ci était composé sur toute sa longueur de bandes cyclables. Sur un tronçon d'une cinquantaine de mètres, la chaussée se rétrécissait d'une vingtaine de centimètres. Le croisement de deux bus les forçait alors à mordre légèrement sur la rive. Or dans le code de la route il est interdit de mordre sur une rive T3-5u comme celle utilisée par les bandes cyclables. Par conséquent il a été obligatoire de mettre en place des rives de type T2-3u (comme pour les chaucidou) qui peuvent, elles, être franchies. Le cycliste ne se rend compte de rien mais c'est un aspect technique à bien connaître (Communauté d'Agglomération Porte de l'Isère, 2018).

De nombreuses fiches du Cerema existent et permettent d'adapter le choix des aménagements cyclables à différentes configurations urbaines (Cerema, 2020).

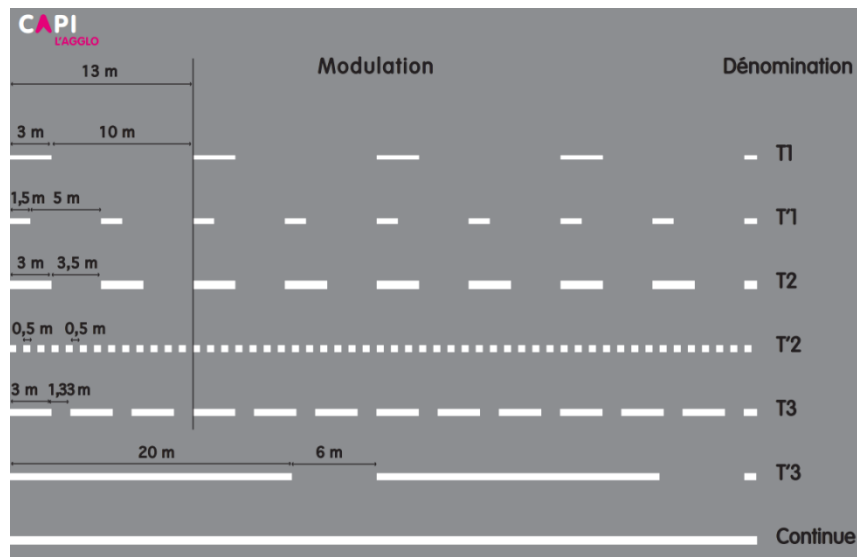


Figure 2: réglementation des différentes signalisations horizontales. «u» signifie la largeur de la ligne et dépend du trafic routier. Il est environ de 5 en milieu urbain. Source : capi-agglo.fr

- Prise de connaissance des réseaux vélo express dans d'autres villes (françaises et européennes).** Novice dans le domaine, je devais également me familiariser aux réseaux vélo express (REV). Les REV ne sont pas des tronçons cyclables classiques mais sont considérés comme des « autoroutes de vélos ». En effet ils représentent des itinéraires cyclables capables de répondre à un fort trafic de vélos, assurant une continuité forte sur toute sa longueur et longeant les axes principaux de circulation. Ces réseaux vélo express ont pour objectif de créer des itinéraires cyclables traversant les métropoles afin d'encourager le report modal vers le vélo, notamment pour les flux domicile-travail. Récemment, toutes les métropoles françaises se dotent d'un schéma cyclable structurant en vue de développer un REV. A travers ce travail de découverte, j'ai pu comprendre le travail réalisé dans certaines villes comme Strasbourg qui ont établi un REV depuis 2011 (Strasbourg.eu, 2011). C'est notamment grâce à ce type d'infrastructures que la ville possède jusqu'à 15 % de déplacements cyclistes. De même, il était intéressant de regarder les infrastructures cyclables dans les pays étrangers notamment aux Pays-Bas et au Danemark. Ce sont deux pays où le cyclisme en ville est extrêmement développé et s'en inspirer serait judicieux. Ce que l'on peut constater c'est que les infrastructures cyclables et routières sont quasiment toujours séparées, permettant d'apporter plus de sécurité et une meilleure fluidité pour les vélos. De plus, les revêtements des pistes cyclables sont colorés en rouge ce qui permet une meilleure distinction des usages dans l'espace public. Enfin, la continuité du cheminement cyclable est garantie par une priorité constante des deux roues sur les véhicules motorisés à chaque intersection. Fluidité, continuité et sécurité sont sans doute les trois points essentiels d'un REV, ce sont les objectifs qu'il me semble important d'inscrire dans ma réflexion sur les itinéraires tourangeaux.
- Participation à deux vidéo-conférences au sujet des REV et retour d'expériences d'aménagements cyclables.** Durant mon stage j'ai eu la possibilité de participer à deux vidéo-conférences permettant d'accroître mes connaissances sur les aménagements cyclables et les REV. Elles ont été organisées par le Cerema et la FUB (Fédération française des Usagers de la Bicyclette) et réunissaient un grand nombre de professionnels travaillant dans des collectivités territoriales françaises. Durant ces webinaires, des intervenants exposaient ce qu'ils avaient entrepris sur leur territoire pour favoriser la pratique du vélo. La première conférence portait sur les vélorues et leur intégration dans le tissu urbain cyclable. Les discussions m'ont permis de comprendre comment bien les utiliser et quelles étaient les

prérogatives nécessaires à leur bon fonctionnement. Par exemple, en ce qui concerne les vélorues, leur faible utilisation en France pour le moment rend les retours d'expériences rares et précieux. Nous y avons appris que le facteur clé dans une vélorue était la contrainte du trafic motorisé dans les rues environnantes (notamment des circulations dites « tête-bêche ») et qu'il fallait que le trafic cycliste soit supérieur à celui des véhicules motorisés pour un bon usage de la vélorue. De surcroît, le marquage au sol est très important pour faire comprendre aux cyclistes qu'ils sont prioritaires sur cet axe. La deuxième conférence portait sur les REV français avec des interventions de diverses collectivités territoriales situées à différents stades dans leur création. Grenoble étant bien évolué sur le sujet nous a permis d'obtenir des informations plus précises quant à la signalétique et la charte graphique de leur REV. De même une analyse de l'évolution du nombre de cyclistes grâce à ces aménagements a été effectuée.

Durant ces deux conférences, des intervenants étrangers (danois et néerlandais) ont pu expliquer le fonctionnement des vélorues et des REV dans leur pays respectif. Ils ont notamment expliqué l'importance du petit mobilier urbain pour favoriser la pratique du cycliste, c'est ce qu'on appelle du micro-design, par exemple des cales pieds aux feux tricolores.

- **Lecture des études passées sur les aménagements cyclables à Tours.** L'idée était de constater les choix qui avaient été faits et de comprendre la place qu'avait le réseau cyclable dans la voirie urbaine. Une forte évolution s'est déroulée au cours de la décennie 2010. Auparavant les aménagements cyclables étaient souvent des bandes cyclables étroites (environ 1 m – 1,10 m) qui ne permettaient pas aux usagers peu expérimentés de se sentir en sécurité. La bande cyclable était plutôt vue comme un aménagement servant à faire ralentir la vitesse des voitures. Puis la démocratisation du vélo a engendré une évolution des besoins cyclables. De plus en plus de rues ont autorisé des contre-sens cyclables et les pictogrammes vélos se sont multipliés. Aujourd'hui, l'heure est à la création d'espace dédié et sécurisé pour les cyclistes ainsi qu'à une tentative de réduction de la place de la voiture dans le milieu urbain dense.

A partir de cet état de l'art, mon futur travail sur les aménagements cyclables sera plus précis et mes propositions davantage argumentées.

b. Réalisation de propositions pour les itinéraires cyclables structurants 3 et 5

Durant mon stage j'ai donc pu étudier la réalisation d'un passage des itinéraires structurants 3 et 5 du schéma cyclable. Ce sont deux lieux très différents en raison de leurs caractéristiques morphologiques mais également par la présence d'usagers très dissemblables. La portion de l'itinéraire 3 dont j'avais l'étude passe dans des rues étroites du centre-ville (Bernard Palissy, François Sicard, Lavoisier et Pont de fil) tandis que l'itinéraire 5 passant rue de Suède à Tours Nord est large et dessert majoritairement des quartiers résidentiels ou zones d'activités.

i. Diagnostic des lieux d'études

Tout d'abord ces missions ont commencé par un **diagnostic de l'existant et du passé**.

La méthode de travail que j'ai mise en place consiste en premier lieu à prendre des notes sur l'espace à partir des éléments trouvés sur internet. L'avantage de travailler dans une grande ville comme Tours permet de bénéficier d'images précieuses et récentes de la part de Google StreetView. C'est l'outil principal que j'ai mobilisé pour cette phase diagnostic. Il permet d'obtenir à la fois des images datant de quelques années mais aussi de noter les éléments structurants d'une rue ou d'un quartier. Je m'en suis servi pour noter les commerces /activités présents plus rapidement, le mobilier urbain

existant, le type de matériau en surface ou bien encore le nombre de stationnements. De surcroît, j'ai utilisé le service SIG de la métropole qui répertorie un grand nombre d'informations sur le territoire. C'est le cas par exemple du type de propriétaires des parcelles, de leurs délimitations ou bien encore de la présence des réseaux et des PAVE (Points d'Apport Volontaire Enterrés). Enfin, en ce qui concerne les données du trafic cycliste, j'ai utilisé les applications Géovélo et Strava (Strava, 2022) permettant de mieux visualiser les types d'aménagements existants et les discontinuités. De même, le portail statistique de la métropole permet d'avoir des données précises sur le nombre de vélos passant à des points clés de la ville. Les résultats des enquêtes biennales de la FUB (Fédération française des Usagers de la Bicyclette) permettent de recenser les points de difficultés de mobilité cycliste dans la ville avec même des commentaires explicatifs et descriptifs.

Ces principaux éléments m'ont permis de balayer chacun de mes terrains d'études de manière générale. Mais cette unique méthode ne s'avère pas suffisante pour réaliser un diagnostic de terrain pertinent. Les données dites « statiques » ont besoin d'être complétées par des données « dynamiques ». Les données dynamiques comprennent le nombre de passages dans la rue (vélo, voitures, piétons ...), les habitudes des usagers lors des heures de pointe, le stationnement sauvage, la fluidité d'un déplacement cyclable etc. Pour estimer tous ces facteurs, le déplacement sur site est primordial. De même en ce qui concerne la prise de mesure de la chaussée. L'utilisation de Google Earth donne une estimation parfois peu précise de ces dimensions et il est obligatoire de pouvoir s'appuyer sur des mesures fiables (d'autant plus que la morphologie de la rue peut avoir changé entre-temps).

Ainsi, lors de mes visites sur le terrain j'ai pu mettre en place un comptage des véhicules, vélos et scooters/motos (résultats Figure 3), noter les flux lieux de destinations/arrivés dans le quartier analysé et bien entendu mesurer avec fiabilité la chaussée. Ces informations sont précieuses à plusieurs égards. Auparavant inconnues, elles nous permettent désormais de savoir ce qu'il est possible de réaliser comme aménagement.

Prenons comme exemple la situation sur l'itinéraire 3 concernant la rue Bernard Palissy. Actuellement, cette rue est considérée comme une zone de rencontre possédant du stationnement reléguant les piétons en bordure de façade en raison d'une différenciation de revêtement trompeuse. Le trafic de voiture n'est pas très fort, même en heures de pointe, mais la cohabitation avec le contre-sens cyclable existant apparaît comme problématique. En effet, il a été constaté que lorsqu'il y a une voiture rue Palissy, le cycliste est obligé de se déporter et de potentiellement rencontrer des piétons et du mobilier urbain. Voici le point de difficulté que j'ai tenté de régler à partir des solutions proposées tout en gardant à l'esprit que cet axe structurant numéro 3 devait être le trajet le plus rapide, le plus efficace et le plus sécurisé pour les vélos. Par conséquent, l'acquisition des données de circulation est important pour proposer une solution fiable. Il s'avère que mon analyse des flux de véhicules permettait d'identifier que la rue Bernard Palissy ne subissait pas un trafic important en direction de la rue Emile Zola, mais que cette dernière était majoritairement alimentée par la rue des Ursulines. Une enquête de flux de circulation

	8h00-8h30	17h15-17h45
	Effectifs	Effectifs
Véhicules motorisés passant par Palissy	33	30
Véhicules motorisés par Palissy et allant vers Zola	11	5
Nombre vélos par Palissy vers Sicard	33	29
Nombre vélos par Palissy vers Heurteloup	38	25
Nombre scooters passant par Palissy	6	4
Véhicules motorisés passant par Sicard Sud	/	76
Véhicules motorisés passant par Sicard Sud et allant vers Zola	/	61

Figure 3 : tableau récapitulatif du comptage personnel effectué le 15 mars 2022 aux heures de pointes.

avait été réalisée en mars 2020 et indiquait le nombre de véhicules passant par chacune de ces rues mais ne prenait pas en compte la destination de ces derniers. Mon comptage est bien entendu à relativiser mais il permet quand même d'afficher une tendance sur les flux de déplacements des véhicules.

De même, le diagnostic nécessite une caractérisation des commerces de la zone de projet. Ils influent sur les comportements de tous les usagers et donc sont à prendre en compte lorsqu'il est question de réaliser un itinéraire cyclable structurant.

ii. Les propositions d'aménagement

Une fois l'ensemble des informations utiles récoltées, je projette des possibilités d'aménagement sur les différents tronçons de mon itinéraire structurant.

En ce qui concerne les itinéraires du schéma cyclable structurant, mes objectifs étaient les suivants :

- Proposer un lieu sécurisé, agréable et direct
- Etre conforme au référentiel technique édicté par la Métropole
- Réduire au maximum les discontinuités dans le parcours

Avant de détailler ma réflexion pour établir des propositions, j'aimerais revenir sur le caractère essentiel que représente la continuité du parcours cyclable en ville. Actuellement à Tours, sont présents des brides d'aménagements cyclables. Mais à la fin de ces tronçons, l'aménagement cyclable est rompu et laisse le cycliste démuni dans un univers bien plus inconfortable. Tout l'enjeu de mon travail était de résorber au maximum ces ruptures de parcours tout en garantissant une sécurité optimale pour tous les usagers et surtout les cyclistes. L'ambition de ces aménagements est de pouvoir constater leur usage par des enfants avec leurs parents. La suppression des discontinuités permet de produire un itinéraire clair, prépondérant et attractif. C'est le moyen principal de promouvoir le vélo et d'en élargir la part modale.

De même, dans le cadre de la politique de la métropole sur les installations cyclables, le passage à un aménagement pérenne doit se faire par l'intermédiaire d'un aménagement transitoire. Dans le cadre de mes missions, je dois ainsi raisonner dans un premier temps sur des aménagements réalisables avec la configuration de la chaussée existante. Ces aménagements transitoires permettent de bénéficier de retours d'expérience mais surtout d'être installés rapidement en place de manière peu onéreuse.

Pour chaque tronçon de mon périmètre d'étude, j'ai établi plusieurs solutions envisageables. Certaines sont volontairement plus ambitieuses et peut-être moins facilement réalisables mais elles permettent de modifier la perception des possibilités d'aménagement. Chacune des solutions proposées est accompagnée et argumentée par des profils en travers (exemple Figure 4), des cartes, des pourcentages en termes d'usages de la voirie, une analyse des avantages et des inconvénients de la proposition et enfin d'une représentation en perspective de comment pourrait rendre l'aménagement envisagé.

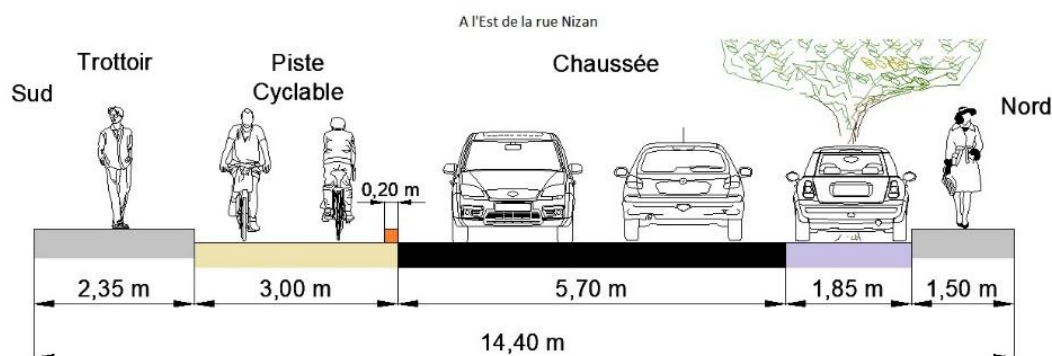


Figure 4 : Exemple type de profil en travers réalisé.

Associé à ces éléments, j'ai mis en place des tableaux synthétiques (Figure 5) permettant d'avoir une vision immédiate des solutions proposées, de pouvoir constater le changement avec l'existant et de les comparer entre elles sur divers critères et usages (piéton, cycliste, circulation, stationnement, végétation et autres). Beaucoup plus propice à l'analyse, ces tableaux permettent d'avoir tous les éléments et enjeux nécessaires à la prise de décision.

Rue Palissy	Existant	Proposition 1 <i>Vélorue</i>	Proposition 2 Interdiction aux voitures	Proposition 3 Modification du sens de stationnement
Profil en travers (en moyenne)				
Piéton	<ul style="list-style-type: none"> Le piéton est amené à marcher au plus proche des façades (le principe de la zone de rencontre est mis à mal). Présence de mobilier urbain en nombre séparant davantage les espaces de la rue (là aussi le principe de zone de rencontre est mis à mal). Fortes présences de piétons aux sorties de classe. Axe préférentiel pour rejoindre la gare et les bus. 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de modification significative pour les piétons. Un rajout de mobilier urbain pourrait pallier la fin du stationnement dans le but de séparer circulation piétonne et automobile. 	<ul style="list-style-type: none"> Création d'une réelle zone de rencontre où le piéton aura toute sa place dans la rue. La suppression des potelets permettra au piéton de s'approprier l'ensemble de l'espace. Mise en place de bancs qui pourront, conjugués à la végétation, créer des espaces agréables. 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de modification significative pour les piétons.
Cycliste	<ul style="list-style-type: none"> Le contre-sens cyclable est problématique lors de la présence d'un véhicule. L'espace (2,50m - 3,00m) oblige le cycliste à se déporter sur l'espace piéton. Pas de refuge présent. Axe déjà fréquenté avec quasi 2 fois plus de cyclistes que d'automobilistes aux heures de pointe (comptage du 15 Mars 2022). 	<ul style="list-style-type: none"> Le contre-sens cyclable obtient plus d'espace. Lors de la rencontre avec un véhicule, le cycliste ne sera plus obligé de mettre le pied à terre ou d'emprunter l'espace piéton. Plus de sécurité pour le cycliste. Affirme la place du cycliste sur l'axe et est conforme aux attentes du schéma cyclable. 	<ul style="list-style-type: none"> Apaisement total de la rue où le cycliste traverse une zone sécurisée pour lui. Plus aucun problème lié au contre-sens cyclable. Affirme la place du cycliste sur l'axe et est conforme aux attentes du schéma cyclable. 	<ul style="list-style-type: none"> Le contre-sens cyclable obtient des zones de refuges entre les stationnements délimités. Plus de sécurité pour le cycliste qui pourra éviter de circuler sur l'espace piéton lors d'un croisement avec un véhicule.
Circulation	<ul style="list-style-type: none"> Circulation sens unique Sud-Nord. Trafic assez faible (comptage mars 2020 : 1000 UVP/jour). 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de modification significative concernant la circulation à part le fait que les véhicules ne pourront plus y stationner ce qui peut engendrer une baisse du trafic. 	<ul style="list-style-type: none"> La circulation des véhicules est interdite sauf livraisons et riverains. Report de trafic (faible) s'effectuera la plupart du temps par la rue Buffon-rue <i>Scolle</i> ou bien par la rue des Ursulines. 	<ul style="list-style-type: none"> Circulation inchangée.
Stationnement	<ul style="list-style-type: none"> 22 stationnements payants, tous situés côté droit de la rue Palissy. Aucune place de livraison dédiée. 2 places réservées aux pompiers. Pas de stationnements réservés aux riverains. 	<ul style="list-style-type: none"> Suppression des 22 places de stationnements. Création de places dédiées aux livraisons. 	<ul style="list-style-type: none"> Suppression des 22 places de stationnements. Création de places dédiées aux livraisons. 	<ul style="list-style-type: none"> Passage des stationnements du côté gauche de la rue. Diminution du nombre de stationnement (-5 places). Il en restera 17.
Végétation	<ul style="list-style-type: none"> Présence de 3 glycines au niveau du N°48. 	<ul style="list-style-type: none"> Possibilité de mise en place de davantage de végétations (grâce à l'espace gagné avec la suppression du stationnement) dans l'esprit des glycines déjà présentes. Attention de garder de l'espace pour le croisement cycliste/automobile. 	<ul style="list-style-type: none"> Possibilité de mise en place de davantage de végétations dans l'esprit des glycines déjà présentes. Possibilité de mettre en place des arbustes tout le long de la rue (beaucoup de réseaux présents pouvant être handicapant pour certaines espèces). 	<ul style="list-style-type: none"> Pas d'ajout de végétation.
Remarques annexes	<ul style="list-style-type: none"> Présence de quelques terrasses (4) avec des commerces. Rue assez calme. Parfois des papiers de commerces débordent sur l'espace piéton. Présence de 2 vélocistes. Différence de revêtements entre l'espace automobile et piéton. Beaucoup de mobilier urbain entre espace automobile et piéton. 	<ul style="list-style-type: none"> Rétrécissement de la chaussée au niveau des terrasses pour sécuriser l'espace. Mise en place d'un revêtement type « vélorue » (similaire à la rue d'entraînés) avec bande jaune de 40 cm sur les côtés. Les commerces n'auront plus de véhicules stationnés devant leur vitrine. 	<ul style="list-style-type: none"> Les commerces pourront agrandir leurs terrasses permettant de rendre la rue plus dynamique. Traverse Nord-Sud propice aux mobilités douces (peu de rue interdite aux véhicules dans le centre-ville orientée Nord-Sud). 	<ul style="list-style-type: none"> La rue ne sera que très peu différente avec celle de maintenant. C'est une proposition rapide et facile à mettre en place.

Figure 5 : tableau synthétisant les différentes propositions concernant la rue Palissy.

L'élaboration de ces solutions impliquent de se poser un maximum de questions afin de bien s'assurer que la proposition est valable et réalisable. Par exemple, contraindre le trafic d'une rue en la passant à sens unique pour installer une piste cyclable ne peut être imaginé que si l'on peut envisager une solution de report pour ces voitures. Si le report du trafic se fait dans des rues résidentielles plus étroites, la solution n'est vraisemblablement pas la bonne.

Ces fiches récapitulatives des solutions ont plusieurs objectifs :

- Exposer clairement le parti pris, avec ce que cela implique et montrer ce qu'il est possible de faire pour améliorer le quotidien du cycliste.
- Nourrir les discussions et les échanges avec les autres membres du bureau d'études et des services concernés.
- Permettre au bureau d'études d'avoir une analyse précise des potentialités d'aménagement sur ces tronçons lorsque qu'une maîtrise d'œuvre externalisée se penchera sur le sujet dans quelques mois ou années.

Dans certains cas, les propositions requièrent davantage que la simple voirie existante. Ce fut le cas à deux reprises sur la prolongation de l'itinéraire 5 à Tours Nord. L'objectif était de relier l'itinéraire 3 à l'itinéraire 1 par le quartier de la Milletière. Pour se faire, il m'était nécessaire de trouver un point de passage où il serait possible d'implanter une piste cyclable. Or aucune voie n'existe actuellement pour faire ce passage. Ainsi, je me devais de trouver des solutions pour atteindre l'objectif initial. Parmi ces propositions, j'ai envisagé l'idée de traverser un terrain, actuellement nu, appartenant à Val Touraine Habitat (bailleur social propriété départementale). Ma mission consiste aussi à évaluer toutes les possibilités pour renforcer la trame cyclable en étudiant les possibilités d'acquisitions et de mesurer les difficultés pour y parvenir. Dans cet exemple de prolongation de l'itinéraire 5, deux possibilités d'acquisitions sont proposées. Un terrain appartient au département et l'autre à un propriétaire privé. Le fait de vouloir occuper qu'une légère partie du terrain rend les choses envisageables mais peut-être qu'il sera plus aisé de discuter entre collectivités publiques pour projeter ce tronçon.

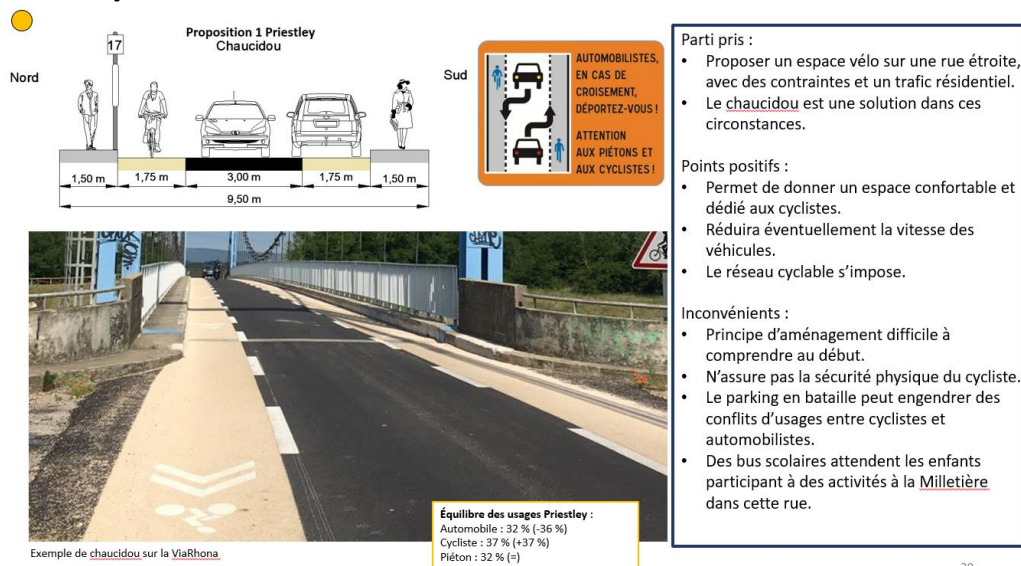


Figure 6 : Exemple de présentation d'une proposition, détaillant les motivations d'un tel aménagement et ces possibles conséquences négatives.

Afin de mieux comprendre les propositions et de susciter les échanges entre les parties intéressées, j'ai dessiné pour la plupart des solutions des plans et vues en perspective (Figure 7 et 8). Majoritairement avec le logiciel Autocad, que je maîtrisais peu en arrivant. La création des vues en perspective m'a permis également de mieux saisir les détails de mes propositions et parfois de constater une impossibilité de réalisation. Ces représentations me paraissent essentielles dans un projet. C'est par ailleurs un point que j'avais regretté de ne pas avoir pu faire durant mon stage de quatrième année. La création de visuels est d'autant plus importante lorsque l'on est amené à discuter avec des élus qui ne sont pas des spécialistes et pour lesquels il peut être plus difficile de visualiser l'aménagement avec une vue plan. Les images en perspective provoquent une compréhension totale et directe de ce que pourrait produire l'aménagement. C'est un gain de temps, d'efficacité et rend l'ensemble plus attractif.



Figure 7 : Création d'une vue de dessus pour expliquer plus clairement les propositions.

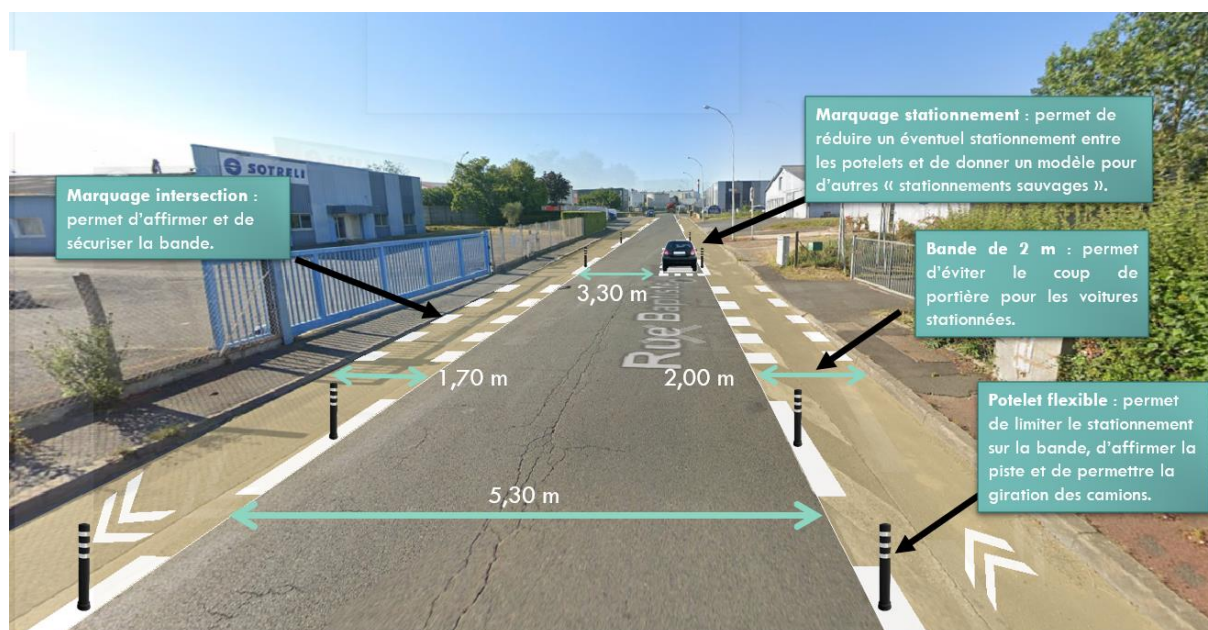


Figure 8 : Insertion visuelle avec vue en perspective de proposition.

iii. Échanges et discussions autour des propositions

L'élaboration de mes propositions a parfois nécessité des temps d'échanges avec des membres d'autres services et notamment le service circulation de la ville. A plusieurs reprises, j'ai eu l'occasion de discuter avec Fabrice Houllier technicien à la circulation des modes doux. Ces échanges ont permis de clarifier des éléments, de soulever de nouvelles interrogations et également d'ajuster certaines propositions. M. Houllier est présent à la ville depuis plus de 20 ans et échanger avec lui est extrêmement enrichissant. Il m'a parfois permis de mieux comprendre les raisons de certains aménagements, de m'apprendre que certaines rues avaient fait l'objet d'une étude cyclable il y a quelques années etc.

De même, lorsque mes propositions nécessitaient des changements de sens de circulation, je me suis référé à la responsable du service circulation et voirie de la ville Marie-Laure Chiscoine qui a pu me renseigner sur la faisabilité d'un changement de sens de circulation. J'ai eu également l'occasion d'échanger avec les services de collecte des déchets concernant leurs impératifs et leur trajet de collecte.

Mais les personnes avec qui j'ai le plus échangé sur mes propositions liées au schéma cyclable sont bien entendu mes tuteurs et mes collègues du bureau d'études. Éline Tatu et Gérald Mossière m'ont

fait part de leurs remarques et conseils au fur et à mesure du développement de mon travail ce qui a permis de l'enrichir et de l'améliorer.

Enfin, j'ai eu l'opportunité de présenter mon travail en réunion de comité technique devant des membres d'autres services de la ville de Tours et de la Métropole. Des échanges et des discussions en ont découlé et m'ont permis de justifier mes propositions ainsi que de répondre aux questions. C'était un exercice très intéressant encourageant la prise de parole devant des personnes spécialistes et connaissant le territoire.

2. Itinéraires dits « secondaires »

Une autre mission concernant les réseaux cyclables m'a été confiée. Elle concerne les axes secondaires de la trame de la ville, par opposition aux axes structurants délimités par le schéma cyclable comme vu précédemment. Ce réseau secondaire appelé le « chevelu » est primordial pour le bon déplacement des cyclistes. Dans le cadre de ces itinéraires secondaires, des aménagements cyclables sont parfois déjà existants mais il est nécessaire d'améliorer la situation et de créer de meilleurs interfaces entre les quartiers et leurs moyens de mobilités douces.

De surcroît, le chevelu permet de relier les itinéraires structurants du schéma cyclable, il est donc impératif de soigner ces points de rencontres pour que la structure globale des aménagements cyclables soient performants.

J'ai pu travailler sur trois réseaux secondaires : Rue de Suède, Rue des Tanneurs et Quartier des Deux-Lions.

Le premier concerne l'élaboration et l'amélioration des traversées Nord/Sud entre la rue de Suède et l'Avenue du Danemark (Tours Nord). L'itinéraire numéro 5 passe par la rue de Suède, il est alors judicieux d'évaluer les possibilités et les opportunités d'aménagements aux alentours.

De la même que pour les itinéraires structurants, un diagnostic est réalisé et des propositions établies. Cependant, dans le cas de ces propositions de liaisons transversales, je me devais d'étudier l'ensemble des possibilités au travers de 6 rues (Figure 9). L'analyse était alors plus globale et davantage portée sur les comportements des usagers et les activités environnantes. Mon objectif était de trouver les lieux les plus judicieux afin de développer un itinéraire cyclable axé Nord/Sud. Ce fut une prise en compte des intersections, des entreprises ou bien encore des sens de circulation et des aménagements cyclables déjà existants.

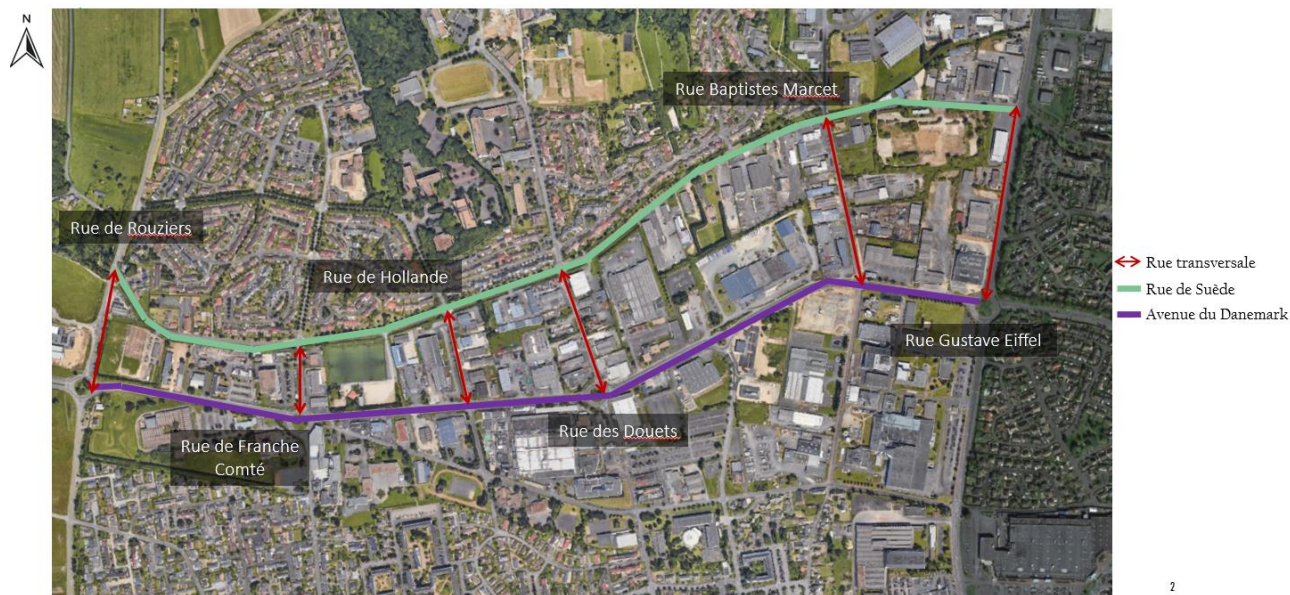


Figure 9 : Plan de situation pour mieux appréhender les principales problématiques du quartier.

Le deuxième « chevelu » étudié est l'axe Avenue Proudhon-Carrefour des Français Libres. C'est un itinéraire particulièrement fréquenté par les usagers car permettant une traversée quasi directe d'ouest en est de Tours. C'est donc aussi pour les cyclistes une formidable opportunité de traverser rapidement la ville. Il est donc primordial que cet axe puisse être doté d'aménagements cyclables efficaces et sécuritaires.

Mon travail fait suite à des aménagements transitoires qui existent déjà sur le tronçon : une piste bidirectionnelle entre la bibliothèque et le pont Wilson (ce dernier a été réservé aux piétons et cyclistes) et plus anciennement des bandes cyclables le long de la faculté des Tanneurs jusqu'au giratoire du pont Napoléon. L'un des objectifs de mon travail est d'évaluer ces dispositifs et de proposer une plus grande continuité dans le déplacement des cyclistes le long de cet axe d'une distance de 2,1 km.

Cet itinéraire a des particularités fortes qu'il faut prendre en compte. La présence importante des véhicules motorisés (près de 25 000 par jour en 2017), une discontinuité marquée des aménagements cyclables, de nombreuses intersections dangereuses et inconfortables et enfin un milieu très contraint en termes d'espaces et d'usages.

En raison du particularisme de cet itinéraire, j'ai organisé mon travail de diagnostic en le délimitant en 8 tronçons (Figure 10 et 11). Pour chacun d'entre eux étaient recensés :

- Les caractéristiques générales
- Les caractéristiques des aménagements cyclables existants
- Les caractéristiques liées au trafic motorisé
- Les caractéristiques du mobilier urbain
- Les caractéristiques de la voirie
- Les difficultés recensées

S'ajoutent à cela des photos, profil en travers, ressentis émanant de l'enquête de la FUB et bilan des points à améliorer.

Diagnostic de l'existant

Tronçon N°3 : Giratoire Napoléon <-> Rond-point des Mariniers

Caractéristiques générales tronçon :

Longueur : 475 mètres.
Présence de la Faculté et d'une passerelle enjambant la rue.
Possibilité de passer en vélo/à pied derrière la faculté.
6 intersections (1 carrefour à feu).
Présence de 2 places côté Sud.

Caractéristiques vélo :

Concerné par l'itinéraire 10 du schéma cyclable.
Bande cyclable de part et d'autres (1,70 m)
Bandes cyclables situées à gauche de la voie.

Caractéristiques trafic motorisé :

Passage de lignes de bus.
51 places de stationnement au Nord (payantes).
50 places de stationnement au Sud (payantes).
22 700 véhicules par jour (comptage 2017 TMVL).



9

Figure 10 : Diagnostic de certains secteurs.

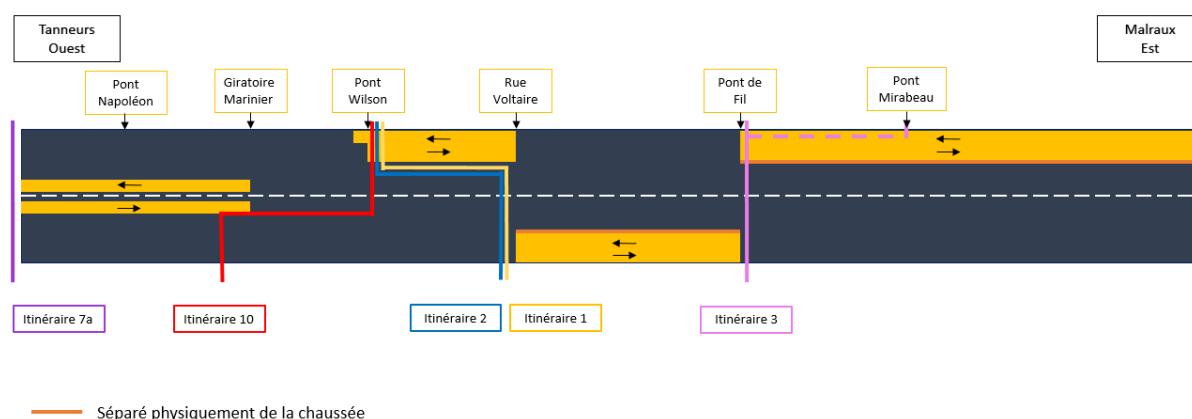


Figure 11 : Représentation schématique des aménagements cyclables sur un itinéraire.

Cette mission, contrairement aux autres, n'appelait pas à réfléchir sur des solutions potentielles. Néanmoins, ce travail m'a permis d'imaginer de possibles solutions (carrefour à la hollandaise, meilleure signalétique, plateau encourageant la traversée, création de portions cyclables en empiétant sur l'espace public large, itinéraires alternatifs etc...).

Le troisième travail relatif aux aménagements cyclables dans le quartier des Deux-Lions ne sera pas détaillé dans ce rapport en raison de la contrainte de longueur du document. En quelques mots, l'objectif était de proposer des liaisons bidirectionnelles sur les Avenues Michelin et Dassault. Les difficultés étaient d'articuler la piste et les giratoires existants.

Au final, j'ai pu tout au long du stage m'imprégner de la thématique d'un réseau cyclable et plus globalement des problématiques de mobilités de la métropole de Tours. Apprendre les fondamentaux, entretenir un processus approfondi de réflexions sur les aménagements ou encore synthétiser les informations pour prendre les bonnes décisions font partis des points que j'ai pu essentiellement développer. La communication et les échanges d'idées ont permis d'alimenter mon travail sur la problématique.

L'autre thème de mon stage portait sur les revêtements perméables en milieu urbain et représentait davantage un travail de recherches que d'applications.

II. Réalisation d'un état de l'art sur les revêtements perméables

La seconde mission importante de mon stage portait sur les revêtements perméables en milieu urbain. Leur utilisation est peu connue, autant par la population en général que par les services de la métropole et de la commune. Personnellement, je n'ai que très peu de connaissances dans ce domaine et cette mission m'a permis d'apprendre et de développer mes compétences dans ces types de revêtements. L'objectif de cette mission est de récolter des informations bibliographiques et de produire un guide à destination des services de la mairie et de la métropole. Il est nécessaire de présenter ces matériaux peu connus et d'en expliciter leurs avantages et leurs inconvénients. Leurs domaines d'utilisation et la technicité nécessaire à leurs installations sont également importants à souligner et à expliquer.

Ce guide fait près d'une soixantaine de pages et quelques extraits seront placés en annexe. Bien sûr il est possible de le consulter en me contactant.

1. Recherches bibliographiques préliminaires

Mes connaissances étant limitées dans le domaine, je me devais de comprendre au préalable les problématiques urbaines contemporaines que pouvaient résoudre les revêtements perméables. Cela passait par des recherches d'informations sur la définition d'un sol perméable, sur les principaux problèmes rencontrés en ville à cause des revêtements imperméables et sur les différentes sources de polluants émanant des usages citadins. De même, j'ai développé mes connaissances sur les bénéfices des revêtements perméables à savoir la diminution du ruissellement de l'eau, des îlots de chaleurs, du coût élevé en structure d'assainissement et de la restauration du cycle naturel de l'eau. Il est important de savoir que les revêtements perméables permettent d'infiltrer l'eau de pluie à l'endroit même où elle tombe ce qui limite considérablement le ruissellement sur les chaussées de la ville et donc son accumulation de polluants se rejetant plus en amont. Lors de fortes pluies, des inondations sont le résultat d'un trop plein d'eau dans les tuyaux ce qui pourrait être évité si davantage d'eau était infiltrée à la parcelle.

Toutes ces informations ont été récupérées auprès de fournisseurs de revêtements, de revues spécialisées (Plante&Cité, 2021) ou encore d'études scientifiques. La méthode que j'ai souhaitée mettre en place est dans un premier temps basée sur la problématique globale des revêtements en ville puis une étude approfondie du fonctionnement de revêtement à l'aide de documentations techniques et scientifiques. A cela s'ajoute une analyse personnelle des lieux pertinents à perméabiliser sur Tours. Enfin, la rédaction d'une foire aux questions a été réalisée à l'aide d'informations extraites de lectures scientifiques et de sites internet relayant des retours d'expériences.

Ce que j'ai pu constater dans mes recherches, au-delà des informations de fonctionnement des matériaux perméables, c'est la difficile prise en considération des techniques de désimperméabilisation dans les documents d'urbanisme. La plupart exige une infiltration de l'eau à la parcelle pour les nouvelles constructions mais il y a extrêmement peu de propositions pour rendre les sols perméables existants. Lorsque c'est le cas, les principales solutions proposées reposent sur l'apport de végétation mais très rarement sur l'installation de revêtement perméable. Or l'installation de végétation ne peut se faire partout dans un milieu urbain puisque contraire aux usages en vigueur. Il est donc nécessaire d'amplifier la connaissance des revêtements perméables pour que leur installation puisse être mise en place.

De plus, je me suis intéressé à mon territoire d'étude (Tours) quant à sa vulnérabilité aux ilots de chaleur et la quantité de sols imperméables. L'ATU37 a réalisé des cartes présentant les ilots de chaleur sur toute la métropole à une même date et heure. Cette carte nous informe sur les principales zones où il y a le moins d'utilisation de revêtements perméables (Agence d'Urbanisme de l'Agglomération de Tours, 2020). Sans surprise, les lieux majoritairement concernés sont les parkings de centre commerciaux mais l'ensemble du centre-ville de Tours reste très chaud. C'est le résultat d'un espace peu végétalisé, de rues goudronnées et de trottoirs asphaltés.

Une fois toutes les informations nécessaires à la compréhension des systèmes perméables récoltées, je me suis mis à chercher des informations sur les matériaux en eux-mêmes.

Afin de synthétiser ces recherches pour chaque matériau, j'ai défini en accord avec mes tuteurs une liste de critères à prendre en compte. Ces derniers sont les suivants :

- Leur structure
- Leur caractéristique de perméabilité
- Leur usage dans le milieu urbain
- Le confort de circulation
- L'entretien
- Le prix
- La pérennité
- La présence de fournisseurs
- Les retours d'expérience

Cette étude m'a permis de développer mes connaissances techniques dans la création, dans la mise en place ou la formation de chaussées et des sols en général. Dans un contexte de réchauffement climatique où les pics de chaleur sont de plus en plus importants (notamment en ville), il me semble indispensable de maîtriser ces questionnements et les solutions qui existent.

2. Synthèse et suppléments d'informations

Le but de ma mission est de permettre aux services d'avoir un guide sur les possibilités d'implantations des revêtements perméables dans leur projet. Ce document fait une soixantaine de pages et il me semble nécessaire de proposer des documents annexes synthétiques (Figure 12) pour faciliter l'acquisition des informations par les agents. J'ai ainsi réalisé des fiches explicatives de chacun des matériaux avec leurs caractéristiques ainsi que les avantages et inconvénients qu'ils procurent.

De même, dans le but d'approfondir mon travail de recherche, je souhaitais y ajouter des retours d'expérience. Ces derniers sont assez confidentiels sur internet et très peu de descriptifs détaillés sont publiés. Pour y palier et recueillir plus d'informations sur les usages de ces revêtements perméables, j'ai contacté diverses communes et commerces afin d'en savoir davantage. C'est le cas notamment de la commune d'Agon-Coutainville qui m'a apporté des éclaircissements sur la pose de béton poreux sur leurs trottoirs. C'est un retour d'expérience précieux puisque le béton poreux est encore assez confidentiel dans les aménagements urbains.

Au-delà de ces prises de contact concernant les revêtements perméables, l'intention est également d'élargir la recherche à d'autres matériaux ou techniques que l'on retrouve plus ou moins fréquemment en milieu urbain.

C'est le cas notamment des matériaux sablés stabilisés principalement implantés dans les parcs et jardins historiques de la ville. Les stabilisés sont appréciés en raison de leur caractère patrimonial et instantanément assimilé par les usagers comme des lieux de promenades. Mais ils sont aujourd'hui de plus en plus décriés en raison de leur impraticabilité par temps de pluie. Souvent, des ornières se créent et la pluie, même légère, occasionne l'apparition de boue. Or, ce phénomène apparaît davantage sur les stabilisés récents que sur ceux installés dans les parcs de la fin du XIXe siècle tels que le Jardin des Prébendes, le Jardin Botanique et le Parc Mirabeau. L'objectif initial était de comprendre quelles étaient les méthodes d'entretien et de construction à (re)mettre en place afin de garantir un stabilisé de qualité. Actuellement, l'entretien se réalise au moyen de rebouchage des ornières avec de la grave dioritique (matériau extérieur à la composition initiale du stabilisé) et l'ajout d'une épaisse couche de sable. Ces réparations ne sont visiblement pas pérennes puisque les

REVÊTEMENTS PERMÉABLES EN MILIEU URBAIN : BÉTON POREUX

Description : Le béton drainant est une surface ayant une résistance à l'usage quasi-semblable au béton classique mais il laisse s'infiltrer l'eau dans le sol. Les bétons drainants sont parfois même poreux à hauteur de 35 %. Sa structure comporte des vides mesurant entre 10 et 30mm qui laissent passer l'eau jusqu'au sol. Du fait de la présence de « vides », la résistance mécanique du béton drainant est inférieure à un béton classique.

Lieux d'usages :

- Cheminements piétons, cyclistes et accès pompiers
- Place de parking (exclusivement épi et bataille)
- Passage de véhicules légers et occasionnellement poids lourds
- Voies de circulations hors zone de manœuvre



Prix :
Entre 55 € et 65 € le m²

Perméabilité :
Au moins 0,003 m/s.

Pérennité :
Plus de 10 ans en cas de bonnes conditions d'usages et d'entretien.

Entretien :
Éviter le colmatage des espaces interstitiels :

- Nettoyage haute pression au moins 1 fois par an à une pression maximum de 120 bars.
- Suivi d'une aspiration forte.

Avantages :

- Très bonne roulabilité.
- Très bonne accessibilité PMR.
- Bonne perméabilité.
- Plusieurs couleurs disponibles.

Inconvénients :

- Prix plus élevé qu'un enrobé classique.
- Supporte moins les cisaillements.

Lieux d'utilisation recensés :

- Parking Krys à Saint-Cyr-sur-Loire.
- Trottoirs à Agon-Coutainville.
- Parking Carrefour à Ploemeur.
- Place de la gare à Capbreton.

Peu de retours d'expérience détaillés

Bureau d'études Tours Métropole Val de Loire - Juillet 2022

problèmes sont récurrents. Mais le savoir concernant l'entretien et la formation de stabilisé s'est perdu au fil du temps et la technique est désormais introuvable dans les services, sur internet et dans certains livres consultables numériquement datant de l'époque de la création des jardins au XIXe siècle. J'ai contacté diverses personnes susceptibles de me donner des informations à ce sujet. Cette recherche n'a pas pu aller à son terme dans la durée de mon stage mais des contacts précieux ont pu être réalisés pour une avancée future.

Figure 12 : Fiche récapitulative sur l'un des revêtements perméables présentés : le béton poreux.

Dans le cadre de cette grande étude sur les revêtements perméables en milieu urbain, j'ai trouvé qu'il était pertinent de s'intéresser à la relation entre les arbres et ces revêtements.

Ce que nous constatons aujourd'hui c'est l'implantation d'arbres à des endroits inadaptés pour eux. Entourés d'enrobés ou d'autres revêtements imperméables, les racines des arbres ont tendance à venir déformer la couche supérieure du revêtement dégradant par la même occasion l'usage de ces derniers (Figure 13). Ceci s'explique par un stress anaérobie et hydrique en raison de l'impossibilité pour l'oxygène et l'eau d'atteindre les racines de l'arbre. Ainsi, les racines vont venir se rapprocher des couches d'enrobés car celles-ci créent une couche de condensation et vont craquer le revêtement. L'installation de revêtements perméables à proximité de leur tronc permet de réduire voire même de stopper ce phénomène.

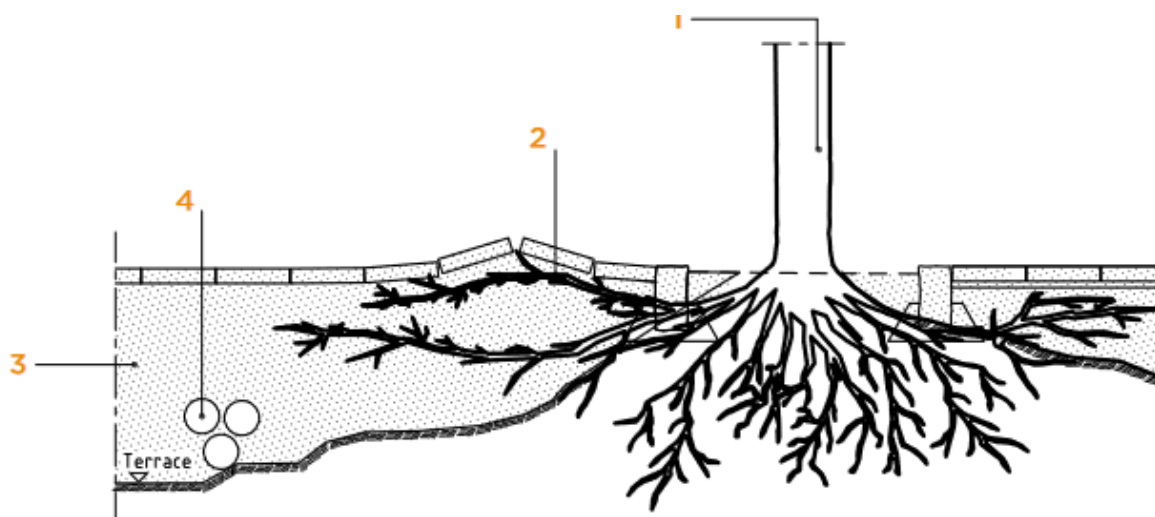


Figure 13 : Schéma montrant l'impact des racines sur les revêtements. Source : Trees&Design Action Group

De plus, il existe des systèmes permettant à l'arbre de mieux se développer en ville. J'ai expliqué l'existence et le fonctionnement de ceux-ci.

Il existe des **systèmes flottants** consistant à placer une structure entre le revêtement de surface et le sous-sol dans le but de réduire les risques de compaction. Ceci permet une meilleure oxygénation de l'arbre. De plus, l'eau pluviale récoltée est acheminée dans ce système flottant et permet à l'arbre d'en bénéficier davantage que dans les structures actuelles.

De même, l'utilisation de **système à caissons** a pour objectif de réduire les risques de compactions du sol au niveau des racines des arbres. Contrairement au système flottant, le système à caissons se place plus en profondeur dans le but d'englober la quasi-totalité des racines de l'arbre. Ces caissons sont remplis de terre faiblement compactée, cela permet aux racines de mieux se développer sans remonter en surface. De la même manière que les systèmes flottants, l'eau de pluie peut être utilisée pour irriguer le système en y intégrant des tuyaux.

Enfin, le **système de Stockholm** est un mélange terre-pierre visant à faciliter l'infiltration de l'eau et l'oxygénation des racines d'arbres (Figure 14). Particulièrement utilisée depuis une vingtaine d'année dans la capitale suédoise, ce système est peu utilisé en France.

Le sol est composé d'un mélange terre-pierre permettant de réduire la compaction du sol et donc de favoriser le développement des racines des arbres. En surface et au niveau du tronc est placée une grille classique permettant de laisser s'infiltrer l'eau pluviale.

Mais le système de Stockholm ne s'arrête pas là. En effet, de part et d'autre de l'arbre se situe une bouche du puits. Celle-ci a pour rôle de collecter les eaux de pluies ruisselantes (venant des toitures ou des revêtements imperméables). Deux fonctions majeures à ce puits :

- Approvisionner en eau de pluie le sol et a fortiori les racines de l'arbre
- Provoquer un échange gazeux entre le sol et l'air. En effet, l'arrivée d'eau entraîne une remontée du CO₂ du sol jusqu'à la surface et permet de renouveler l'air pour les racines.

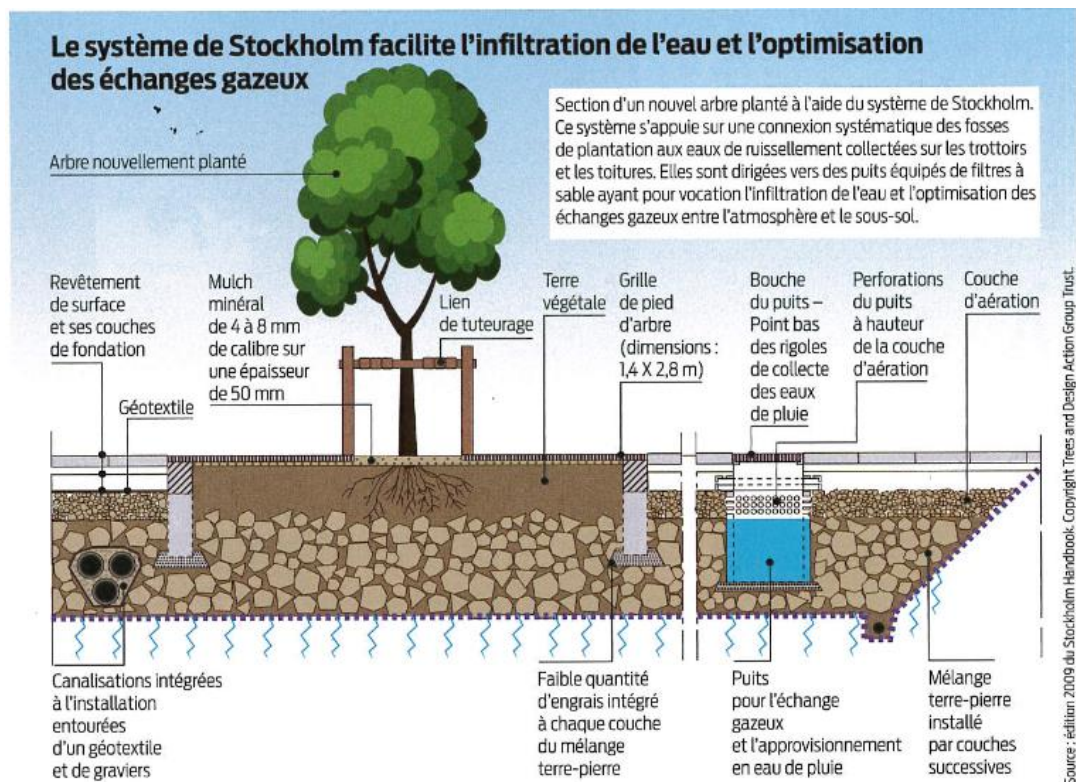


Figure 14 : Schéma du système de Stockholm. Source : arbres-caue77.org

La conclusion de mon rapport évoquait les lieux d'implantations possibles de revêtements perméables sur le territoire de la ville de Tours. L'idéal étant de mettre en place des chantiers-tests de petite taille pour permettre de constater l'évolution de ces matériaux en fonction de leurs usages. Le parking actuel près du cimetière de La Salle pourrait faire l'objet de ce test. En effet, il est d'une petite surface entièrement réalisée en enrobée et le quartier autour vient d'être architecturalement bouleversée par la création de nouveaux immeubles d'habitations. Ne présentant pas un grand intérêt esthétique et laissant place à l'anarchie du stationnement, il serait judicieux de créer un stationnement alliant végétation et revêtements perméables tels que l'utilisation de béton poreux ou de pavés à joints larges. Les retours d'expériences de ces deux matériaux sont plutôt maigres alors qu'ils sont prometteurs pour ce type d'usage.

Enfin, dans une optique de synthèse, il m'était demandé de réaliser une foire aux questions (Vrai/Faux) concernant les interrogations récurrentes que tout à chacun peut se poser au sujet des revêtements perméables (Figure 15). Ces questions concernent l'entretien, l'installation ou encore la résistance aux usages. Les réponses sont justifiées par des productions scientifiques et instituts spécialisés.



Figure 15 : Une fiche de la foire aux questions sur les revêtements perméables.

III. Participation et création d'outils de participation citoyenne

Au cours de mon stage, j'ai pu découvrir les moyens de participation citoyenne mis en œuvre dans une collectivité territoriale. Cette dernière est de plus en plus présente dans les projets portés par les pouvoirs publics et il fut très intéressant de pouvoir être acteur et observateur de ces outils.

1. Réalisation d'un questionnaire de satisfaction

Dans le cadre des aménagements cyclables structurants, il est prévu qu'il y ait une phase dite « transitoire » afin de tester l'efficacité des aménagements mis en place. Peu avant le début de mon stage en février, le tronçon de l'itinéraire numéro 3 parcourant la rue Edouard Vaillant a été réalisé. Dans le cadre de ce processus d'intégration progressif des aménagements cyclables, il m'a été

demandé de réaliser un questionnaire de satisfaction à destination des usagers, principalement cyclistes, afin de récolter leur point de vue.

Sur cet axe, des aménagements cyclables innovants ont été mis en place et nécessite un retour terrain. C'est notamment le cas d'un passage de la bande cyclable sur un quai de bus, un passage de la piste sur un trottoir large ou bien encore la mise en place d'un chaudiou. Par ailleurs, certains éléments de cet axe transitoire ont été discutés avec des associations comme le Collectif Cycliste 37. Ce fut le cas par exemple pour un giratoire situé sur cet axe. Le projet initial proposait la réalisation d'un anneau cyclable « traditionnel » mais l'association trouvait plus pertinent un giratoire où le cycliste est libre de sa trajectoire. Cette consultation des pratiquants du vélo s'est donc déroulée avant et après l'installation.

L'objectif de ce questionnaire est de savoir si l'itinéraire est désormais plus sécurisé, si le cycliste se sent moins en danger vis-à-vis du trafic automobile. La mise en place de potelets le long de la bande cyclable ou bien encore la signalisation marquée des intersections permettent-ils d'assurer une plus grande confiance aux cyclistes ? Afin que le questionnaire soit simple et facile à renseigner, j'ai limité le nombre de questions et ajouté des photographies/schémas (Figure 16). En outre, cela facilite la compréhension des aménagements cyclables ciblés.

Les informations sur les interrogés permettront de visualiser d'éventuelles différences de réponses en fonction des âges, des habitudes de déplacements ou bien encore des heures de passages dans la journée.

A la suite de la réalisation de ce questionnaire, le but est de mettre en place un Qr Code le long de la rue Edouard Vaillant afin que les usagers puissent le scanner et répondre au questionnaire. Cette phase se passe en interne dans d'autres services de la mairie. Toutes les réponses enregistrées serviront à faire évoluer les aménagements cyclables sur la rue, à pérenniser les infrastructures et à mieux connaître les desideratas des usagers afin de mieux les prendre en compte pour d'autres tronçons cyclables présents ou à venir.

6. Sur les voies cyclables situées au Sud de la rue Vaillant, des potelets séparent les voitures des cyclistes. Ces potelets permettent-ils de vous sentir davantage en sécurité ?

- Oui, je me sens plus en sécurité
- Non, cela ne change rien
- Je ne sais pas, je n'y passe pas



Figure 16 : Exemple d'interrogation présente dans le questionnaire.

2. Participation à une balade urbaine

La rue de Suède connaît actuellement d'importants travaux liés au réseau d'eau et un réaménagement va avoir lieu prochainement. C'est un secteur connaissant des particularités socio-économiques et environnementales importantes. Tout d'abord les habitations sont situées dans une ZAC (Zone d'Aménagement Concertée) créée dans les années 1970 et caractéristique des lotissements de ces années. De plus, cette rue est située à proximité immédiate d'une zone d'activité importante. Enfin, un ruisseau longe la rue de Suède mais est hautement réactif aux pluies et provoque très fréquemment des inondations dans les habitations (un projet de renaturation du cours d'eau est d'ailleurs en cours de réflexion).

Pour toutes ces raisons, la ville de Tours a souhaité mettre en place des phases de concertation avec les usagers du quartier et notamment les habitants.

J'ai eu l'occasion de participer à l'une d'entre elles.

Cette balade urbaine a permis de parcourir l'entièreté de la rue avec les riverains. Ils ont exprimé les principaux problèmes identifiés ou ce qui serait intéressant de faire. Mais là où l'habitant est précieux c'est pour mettre en évidence les usages de la rue et du quartier : des traversées d'enfants, un trafic de camion trop nombreux, des comportements non appropriés etc.

Les riverains soulignent des informations que les services ignoraient. De ce fait leur avis est primordial pour une bonne réalisation du projet. Ces balades sont très enrichissantes pour tous et permettent à la population de se sentir écoutée et au bureau d'études de comprendre plus finement le quartier.

3. Participation à une réunion publique

J'ai pu participer à une réunion publique ayant pour objet la vélorue de la rue d'Entraigues. Cet aménagement cyclable vise à modifier la circulation de la rue de tout son long afin de donner un espace large et quasi dédié à la pratique du vélo. Il y aura donc moins de trafic de passage ouest/est dans cette rue. Cet aménagement est transitoire afin de visualiser d'éventuelles problématiques.

C'est la première fois que j'assistais à une réunion publique. J'ai pu constater la difficulté de l'exercice quant aux réactions quelque peu vindicatives de la salle. Les débats étaient houleux entre pro et anti vélorue. Cela nécessite un vrai effort de pédagogie dans la présentation et une certaine capacité de répartie pour répondre à toute sorte de questions. Il faut également faire très attention à chaque mot prononcé qui peut provoquer l'ire de la salle. Observer les réactions permet de mieux anticiper la façon dont il faudra expliquer les futurs projets. Par exemple, j'ai ressenti que chaque personne dans la salle aurait voulu savoir ce que cela allait changer dans leur situation personnelle ou bien encore avoir un visuel réaliste de ce que cela pourrait donner. De plus, il s'avère que beaucoup de gens dans la salle ont refusé de croire les chiffres émanant du comptage de vélo dans la rue d'Entraigues. Beaucoup ont estimé que le chiffre de 650 vélos de moyenne par jour (lundi-vendredi) n'était pas réaliste et qu'il y en avait moins. Cela m'interroge sur les moyens que nous, les aménageurs et chef de projet, avons pour justifier des choix si des critères scientifiques ne sont pas respectés.

Au final, cette réunion publique m'a beaucoup appris sur la manière dont un aménageur doit présenter son projet à une population initialement plutôt hostile à tout changement. Il est important d'être sûr de soi, sûr de ce que l'on propose et surtout de rester calme même face à des remarques déplacées.

IV. Réunions et création de fiches techniques

Au cours de mon stage j'ai pu assister à des réunions et à des discussions plus techniques permettant d'enrichir ma culture. J'ai pu également donner quelques coups de mains occasionnels sur certaines tâches.

1. Réalisation d'une fiche technique sur les giratoires hollandais

Dans le cadre de la réfection du giratoire Saint-Sauveur, le bureau d'études avait pour objectif de mettre en place l'un des premiers giratoires à la hollandaise (dits à ilots intra-annulaires) de la région Centre-Val de Loire. Cet aménagement sécurisé permet aux piétons et aux cyclistes d'avoir davantage de sécurité, point essentiel quand on connaît les drames récents qui ont poussé à son réaménagement (décès d'un piéton).

A l'ébauche du projet, ma tutrice m'a demandé de réaliser une fiche technique sur les composantes d'un giratoire à la hollandaise (Figure 17). Mon objectif était de synthétiser ce qui se faisait aux Pays-Bas afin de retenir le meilleur pour éventuellement le mettre en œuvre.

J'ai donc expliqué les principes de base de cet aménagement, ce qui se pratiquait dans les villes et également ce qui était conseillé par le CROW (le Cerema néerlandais). L'explication de comment les usagers cohabitent pacifiquement entre eux, du type de matériaux, de couleurs etc. De plus, j'ai élaboré un récapitulatif des avantages et des inconvénients que représentaient le giratoire à la hollandaise.

Enfin, j'ai conclu la fiche synthétique par une enquête de satisfaction après l'aménagement d'un giratoire à la hollandaise en région parisienne afin de montrer l'évolution de l'avant/après.



Figure 1 : Rond-point à la hollandaise

Les principes de base de l'aménagement :

- Réduire la circulation des véhicules motorisés à 1 voie.
- Séparer physiquement l'anneau cyclable de la voie de circulation des véhicules motorisés.
- L'intersection entre voie cyclable et voie motorisée se fait à angle droit pour une meilleure visibilité.
- Comme sur les giratoires classiques, le cycliste est prioritaire sur le véhicule.
- Les anneaux cyclables sont en sens unique dans le sens de la circulation des véhicules motorisés (selon le manuel du CROW, l'équivalent du CEREMA néerlandais). A noter qu'il existe parfois des ronds-points ayant une partie bidirectionnelle.
- Les passages piétons et cyclistes peuvent être légèrement surélevés.

Matériaux utilisés pour les pistes cyclables aux Pays-Bas :

- Enrobé rouge
- Béton rouge

Ces revêtements sont préférés des néerlandais car les surfaces sont planes, drainantes, antidérapantes et confèrent une bonne résistance au roulement. Le croisement de véhicules lourds n'endommagera pas la piste.

Ils sont environ 40 % plus chers que des revêtements noirs. Ils sont parfois perméables.

1

Avantages d'un rond-point à la hollandaise :

- Davantage de sécurité en séparant physiquement voie de circulation et voie cyclable.
- Clarté des usages grâce aux revêtements de couleur.
- Augmentation de la visibilité en supprimant les angles morts.
- Le piéton circule à l'extérieur de l'anneau cyclable et peut rencontrer un ilot pour réaliser le déplacement en deux étapes : plus sécurisé.
- Au Pays-Bas, l'anneau fait au minimum 1,70 m de large.
- Les véhicules sortant du rond-point bénéficient d'un espace pour laisser passer les cyclistes sans gêner le trafic de véhicules.
- En raison de la réduction du rayon du cercle, les véhicules ne peuvent pas accélérer avant d'avoir quitté le rond-point.

Inconvénients d'un rond-point à la hollandaise :

- Si le passage piéton n'est pas collé à l'anneau cyclable, le véhicule aura tendance à s'arrêter sur la voie cyclable pour laisser passer les piétons.
- Allongement de parcours pour les cyclistes.
- La réduction du nombre de voies de circulation peut entraîner des bouchons.
- Nécessite une surface disponible conséquente pour réaliser l'aménagement correctement.

Si l'anneau cyclable est un double sens cyclable, plusieurs inconvénients s'ajoutent :

- La situation est plus compliquée pour l'automobiliste qui doit regarder des deux côtés afin de voir si un vélo arrive. Plus dangereux et multiplie les conflits d'usages.
- Lorsqu'un cycliste souhaite sortir de l'anneau, il doit parfois croiser l'autre sens cyclable. Moins confortable.
- Le double-sens fait prendre plus de place et donc n'octroie pas aux véhicules un espace pour patienter entre anneau cyclable et voie véhicule.

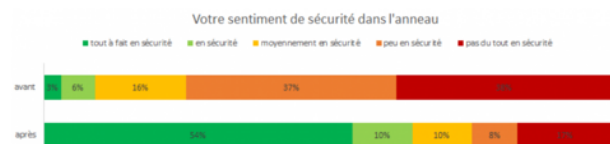


Figure 2 : Ressenti sécurité des cyclistes avant et après un aménagement à la hollandaise à Créteil. Source : CROW.

Figure 17 : Fiche technique sur le giratoire hollandais comme outil d'aide à la décision.

Cette fiche synthétique a permis à ma tutrice de prendre des décisions quant aux choix d'aménagement du giratoire Saint-Sauveur, notamment en ce qui concerne le sens unique cyclable ou bien les plateaux lors des intersections avec les voies de circulation.

2. Participation à des réunions, dont certaines entre techniciens et élus

J'ai eu l'occasion de participer à quelques réunions avec les élus afin de discuter des évolutions de certains projets. De même, lors des comités techniques, j'ai parfois été missionné afin d'écrire un compte-rendu qui a été diffusé à plusieurs services.

J'ai également pu assister à la restitution de l'avis de Copenhagenize (société de conseil) au sujet de l'aménagement du giratoire Saint-Sauveur. C'est un cabinet de conseil spécialisé dans les aménagements vélos et qui a évalué le projet du bureau d'études puis a proposé des solutions et des améliorations.

Toutes ces réunions ont été particulièrement enrichissantes puisqu'elles explorent différentes facettes du métier d'aménageur.

3. Apprentissage de termes techniques

Enfin, de manière plus informelle, j'ai pu entendre de nombreuses discussions techniques concernant les voiries. En effet, mon lieu de travail était situé dans un open-space avec les projeteurs ce qui m'a permis d'avoir plus de connaissances sur les sujets. C'est le cas par exemple de tout l'aspect des réseaux enfouis et présents sous les chaussées, la gestion des eaux pluviales ou bien encore des détails pour les voiries telles que les types de bordures/trottoirs.

D. Analyse de mes missions / retour d'expériences

Ce stage d'une durée de 6 mois à la métropole de Tours a été riche en expériences et en acquisition de compétences. Cette immersion de longue durée m'a permis de me sentir de plus en plus à l'aise dans l'équipe mais aussi dans le travail fourni. Notamment sur les questions d'infrastructures cyclables, ma vision s'est étoffée et affirmée. J'ai pu mettre en application toutes les connaissances accumulées en début de stage lors de mon état de l'art. Ce stage m'a appris à développer des compétences complémentaires et différenciées au regard de celui effectué en quatrième année. En voici un descriptif détaillé des principales.

I. Ce que mes missions m'ont appris

1. Le contact avec divers interlocuteurs

Effectuer son stage dans une collectivité territoriale de grande taille telle que Tours implique nécessairement le contact avec de multiples interlocuteurs lors de la gestion des projets. Suite à mon stage de l'année dernière dans bureau d'études à taille humaine (4 personnes), j'avais à cœur de découvrir une structure plus importante afin de mieux saisir les différences de fonctionnement. Les interactions avec les membres des autres services permettent de mener de nombreuses discussions et permettent de faire avancer des projets de manière plus harmonieuse et plus efficace. Cette pluralité d'opinions a fait avancer mes projets et m'a permis de m'ajuster et de débattre.

De même, le fait d'être dans une collectivité publique m'a fait entrer en contact avec la population dans le cadre des épisodes de concertation et consultation. J'ai pu comprendre que ces exercices nécessitaient des approches et des comportements spécifiques. Il semblerait que les démarches de concertation avec les citoyens prennent de plus en plus d'ampleur dans les projets d'urbanisme au regard des fortes revendications de la population pour s'y impliquer davantage. Je suis donc ravi d'avoir pu connaître mes premières expériences de réunion publique en tant que connaisseur du projet présenté, mais aussi d'avoir pu découvrir de nouvelles pratiques interactionnelles avec les habitants autour des balades urbaines dans les quartiers de Tours.

J'ai pu discuter avec des élus ou des techniciens de mes projets. J'ai appris à défendre et à justifier mes choix. Ceux-ci nécessitent une très bonne maîtrise de son sujet avec une préparation en amont des multiples questions possibles pour éviter d'être pris au dépourvu. Les projets d'aménagements ont souvent de multiples contraintes ou possibilités qu'il faut savoir justifier efficacement. Le cheminement de pensée est également important afin de faire comprendre à l'interlocuteur comment je suis arrivé à cette proposition. C'est par ailleurs quelque chose qui me semble manquer dans les réunions de consultation avec les citoyens. Si la démarche était racontée et expliquée il y aurait davantage de compréhension de la part de l'auditoire.

Au final, le contact avec divers interlocuteurs m'a permis d'améliorer le processus de construction de mes projets mais également la manière dont je peux aborder leur présentation (davantage d'explications partie 3.).

2. Un apprentissage avancé des problématiques cyclables urbaines

Tout au long de mon stage, j'ai pu acquérir de nombreuses informations et renforcer mes connaissances sur les thématiques relatives à la mobilité cyclable. J'ai grandement apprécié de travailler sur ce sujet et j'ai pris plaisir à suivre sur les réseaux sociaux des défenseurs du vélo en milieu urbain. Ceci m'a permis de comprendre plus aisément les problématiques qu'ils rencontrent au quotidien et d'intégrer des solutions facilitant leurs déplacements dans mes projets. Je me suis investi fortement dans cette thématique car elle me passionne. Toutes les autres lectures sur les mobilités douces en milieu urbain m'ont permis d'acquérir une connaissance fine et les échanges avec les autres membres du service m'ont aidé à compléter ma culture du sujet. C'était l'objectif initial de mon choix de stage et je m'y suis parfaitement retrouvé. De mon point de vue, je dispose d'une bonne connaissance du sujet et je semble avoir toute l'aptitude nécessaire pour fournir un travail de qualité dans un nouvel emploi relatif à cette thématique.

Au cours de ces projets, j'ai pu faire les diagnostics en autonomie sur mes zones d'études. J'ai pris le temps de récolter les informations qui me semblaient pertinentes (comptages, dimensions etc.) mais j'ai su aussi m'imprégner des ressentis des cyclistes et des interactions existantes entre eux et les autres usagers. Ce type d'observation m'a permis de comprendre tous les « micro-problèmes » des cyclistes. Par exemple, j'ai pu constater qu'un cycliste est contraint en milieu urbain à de nombreux arrêts pour laisser passer les automobilistes. Mais aussi noter le stress permanent qu'il subit lorsqu'il route sur une bande cyclable. Lorsque que ces problèmes s'accumulent, ils engendrent des trajets plus compliqués, moins efficaces, discontinus et parfois même dangereux.

C'est donc le temps d'observation en autonomie que l'on m'a offert qui m'a permis de mieux anticiper les contraintes dans mes projets. Sur toutes les questions de mobilités, il est selon moi nécessaire d'aller sur le terrain observer la situation plusieurs minutes voire heures pour mieux cerner l'ensemble des problématiques davantage empiriques que théoriques.

3. Synthétisation et mise en forme des informations

Le rôle de mes missions (aménagements cyclables et revêtements perméables) était de proposer des solutions et de présenter un ensemble d'informations. Celles-ci ont pour vocation à être utilisées par les services ou par des maîtrises d'œuvre externalisées. Il a donc été nécessaire de créer des documents qui contenaient à la fois des explications détaillées et des justifications tout en renforçant l'esprit de synthèse. Ce travail m'a permis d'affiner encore plus ma capacité à proposer des informations de la manière la plus claire possible. Ce fut le cas notamment sur la question des revêtements perméables où les données étaient très denses. En complément du guide détaillé et complet, j'ai pris l'initiative de créer des fiches récapitulatives au design attrayant et aux informations synthétiques. Ce type de production est à mon sens déterminante car elle facilite la transmission des informations essentielles auprès des interlocuteurs.

Dans le même esprit, j'ai relevé l'importance des représentations graphiques dans l'explication des projets. Je me suis rendu compte que lorsque je présentais un projet à un collègue, une explication classique comportant plans et descriptifs écrits n'étaient pas suffisants pour délivrer l'entièreté de mon idée et de ma vision du projet. Je me sentais un peu frustré de ne pas pouvoir exprimer pleinement mes idées. Ainsi, j'ai commencé à proposer des vues en perspectives afin de mieux rendre compte de la situation. De plus grâce à cela, nous pouvons mieux prêter attention aux propositions difficilement réalisables ou bien encore de certaines particularités du site dont nous n'avions pas saisi l'importance pour la mobilité cyclable.

Ce besoin de synthèses et de productions graphiques je l'ai particulièrement ressenti lors de ma participation à la réunion publique sur la vélorue rue d'Entraigues. Face à des personnes non-initiées à l'aménagement urbain, il est impératif de fournir des éléments facilement compréhensibles afin d'éviter les mauvaises surinterprétations. La réalisation de visuels graphiques de qualité permet naturellement de mieux comprendre l'aménagement escompté. Actuellement, mes visuels sont assez sommaires mais permettent tout de même une représentation réaliste des projets. Dans le futur, j'aimerais être capable de maîtriser des logiciels me permettant de fournir des images en 3D plus réalistes et plus esthétiques. C'est à mon sens un vrai avantage dans tous les types de projet d'urbanisme.

4. Un développement des termes techniques

Tout au long de mon stage, j'ai eu la chance de côtoyer des techniciens et d'en apprendre davantage sur les termes employés ainsi que sur les structures des voiries urbaines. Tout ce qui se passait sous la surface était pour moi parfaitement inconnu. Or il est nécessaire d'avoir connaissance de cela lorsqu'on est en charge d'un projet de A à Z comme c'est le cas de mes tuteurs par exemple. A l'échelle de mes projets de stage, j'ai été confronté à un problème similaire puisque j'avais proposé une végétalisation légère dans une rue dans le but d'accroître l'attractivité du réseau cyclable. Cependant, étaient présents sous ces emplacements des canalisations d'eau potable et de gaz. Le milieu urbain est un environnement très contraint par ce type de réseaux et bien en avoir conscience permet de mieux ajuster le projet sans avoir de déconvenues.

De même, j'ai pris connaissance des différentes formes de trottoirs, du vocabulaire technique de la chaussée ou bien encore des moyens pour évacuer l'eau vers les exutoires. J'ai aussi pu aller sur des chantiers en compagnie de mes tuteurs. A cette occasion j'ai observé les différentes strates de matériaux mises en place sous l'enrobé. J'ai également assisté à une vérification de l'avancée du chantier. Enfin, j'ai constaté la nécessité de maîtriser les termes techniques pour mieux se

comprendre avec les ouvriers. Ces moments, bien qu'étant spectateur, sont très formateurs quant aux termes employés.

5. Un apprentissage des problématiques de revêtements perméables

Cette mission basée sur l'étude des revêtements perméables m'a permis d'acquérir des connaissances importantes sur la thématique de la désimperméabilisation des sols. Novice en la matière au début du stage, j'ai pu découvrir ce nouvel univers en m'intéressant aussi bien au côté technique qu'à la partie usage des matériaux. Cette découverte est assez importante pour moi au regard des enjeux environnementaux des prochaines années, notamment pour les milieux urbains denses comme Tours. Avoir des connaissances dans ces domaines permet de mettre en œuvre plus facilement ce type de matériaux dans les projets. Désormais, je me vois difficilement ne pas considérer les revêtements perméables dans un de mes futurs projets au même titre que la végétalisation des espaces libres. Or, j'ai constaté que ce type de réflexion n'était pas toujours ancré dans les systèmes de pensée. La force de l'habitude pour l'utilisation de revêtements imperméables semble prévaloir.

Ainsi, tout ce travail m'a vraiment fait comprendre l'importance d'utiliser ces revêtements, de définir leurs limites et leurs domaines d'usages notamment.

II. Les compétences que j'ai pu développer et mettre à profit

Durant mon stage de 6 mois, j'ai pu mettre à profit certaines de mes compétences au sein du bureau d'études.

Tout d'abord, j'ai démontré mon sens de la rigueur lors des prises d'informations sur le terrain et pendant les restitutions. Cette compétence que j'ai développée durant mon cursus m'a permis de déployer avec exactitude des informations dans le cadre de mes propositions d'aménagements.

Mes capacités rédactionnelles et mon sens de la synthèse ont également été utiles notamment dans le cadre de mon travail sur les revêtements perméables mais aussi lors de la réalisation des tableaux synthétiques pour les propositions d'aménagements cyclables. C'est une compétence que j'ai pu renforcer.

De plus, l'aménagement du territoire requiert une part de créativité que j'ai pu mettre à profit sur la thématique des aménagements cyclables. Aussi bien dans la conception en elle-même que dans la représentation des solutions, j'espère avoir pu proposer des innovations pour le bureau d'études. Enfin, mes compétences en matière de communication orale ont été sollicitées lorsque je présentais mes projets.

De surcroît, j'ai pu mettre en exergue mon sens de l'écoute et mes qualités relationnelles. Ce fut notamment le cas lors des réunions.

Enfin, ce stage ingénieur a permis de mettre en œuvre mes compétences de réflexions, d'analyse et ma capacité à résoudre des problèmes complexes relatifs aux modes de déplacements en milieu urbain notamment.

III. Mes marges de progression

Durant ce stage j'ai pu avoir un premier aperçu des contraintes économiques et techniques des projets d'aménagement. J'ai eu l'occasion de voir avec ma tutrice comment l'estimation des coûts était réalisée. Dans ce cadre, des éléments techniques sont venus s'ajouter et seront un plus pour ma

connaissance dans ce domaine. Cependant, il apparaît évident que ces deux points n'ont été que survolés ne faisant de toute façon pas partie de ma mission première pour ce stage. Ils sont donc mes principaux domaines de progression pour le futur. Je pense que de telles connaissances s'acquièrent de manière empirique.

IV. Ressentis sur l'activité et ma future activité professionnelle

Ayant réalisé un stage dans un bureau d'études privé au cours de ma quatrième année, mon objectif était de connaître le monde des collectivités publiques au travers de mon stage de cinquième année. Mon but était de cerner les principales différences entre ces deux univers. Il s'avère que, comme je l'anticipais, les secteurs privés et publics présentent de très nettes distinctions.

Premièrement, la notion de rentabilité économique est assez peu présente dans une collectivité publique. Les coûts de projet sont certes maîtrisés mais il y a nettement moins de pression interne pour aller vite et pour traiter un maximum de projet. C'était le cas lors de mon précédent stage. J'ignore cependant si cette pression est toujours de cette intensité dans d'autres bureau d'études privé. Néanmoins il s'avère que l'ambiance générale du service à Tours Métropole était plus apaisée et que le travail se faisait dans des conditions bien plus agréables.

Le fait de travailler avec une multitude de personnes sur les projets rend le travail plus passionnant comparé à une mission que l'aménageur remplit une bonne partie du temps seul. De plus, Tours Métropole bénéficie de beaucoup d'outils SIG (Système d'Information Géographique) très utiles, ce que possède en moins grand nombre les bureaux d'études privés, surtout les plus petits. Ceci facilite la prise d'informations pour les projets et rend plus agréable le travail.

Enfin la dernière grande différence est le périmètre d'activité du travail. En bureau d'études l'aménageur est amené à travailler sur de multiples villes simultanément, créant des projets sans avoir d'attaches particulières avec le territoire. En revanche, dans le cadre de mon stage de cette année, le fait d'évoluer sur un même lieu (que je connais de surcroît) rend l'approche différente. Faire évoluer d'année en année une même ville permet de se rendre compte du chemin accompli et doit, selon moi, entraîner une forme de satisfaction supérieure.

Mais la fonction publique territoriale possède quand même quelques particularités qui sont moins attirantes que ce que peut proposer le secteur privé. Le salaire est notamment plus bas, surtout pour les débutants comme moi. Certes, la fonction publique propose de plus nombreux jours de congés, de RTT et sans doute une relation au travail plus apaisée mais je m'interroge sur ce que je souhaite privilégier pour le moment.

Ce stage m'a permis de faire évoluer mon projet professionnel. Si je ne sais pas encore si je vais travailler dans le secteur privé ou public, j'ai néanmoins confirmé mon attrait pour la thématique des mobilités douces. C'est quelque chose qui m'intéresse fortement et je pense qu'il est essentiel de promouvoir ces dernières dans un cadre de développement durable du territoire. Un premier emploi sur ce sujet pourrait me satisfaire professionnellement. Je dispose désormais d'une bonne expertise et je pourrais me sentir opérationnel avec un temps d'adaptation réduit.

Mon stage au sein du bureau d'études de Tours métropole est pour moi une vraie satisfaction, tant par les compétences acquises que par l'ambiance générale dans lequel il s'est déroulé. Encore un grand merci à l'ensemble des personnes que j'ai pu côtoyer. Tout spécifiquement à mes tuteurs : Éline Tatu et Gérald Mossière pour les multiples conseils et attentions prodigués tout au long de ces 6 mois.

sur ce sujet pourrait me satisfaire professionnellement. Je dispose désormais d'une bonne expertise et je pourrais me sentir opérationnel avec un temps d'adaptation réduit.

Mon stage au sein du bureau d'études de Tours métropole est pour moi une vraie satisfaction, tant par les compétences acquises que par l'ambiance générale dans lequel il s'est déroulé. Encore un grand merci à l'ensemble des personnes que j'ai pu côtoyer. Tout spécifiquement à mes tuteurs : Éline Tatu et Gérald Mossière pour les multiples conseils et attentions prodigués tout au long de ces 6 mois.

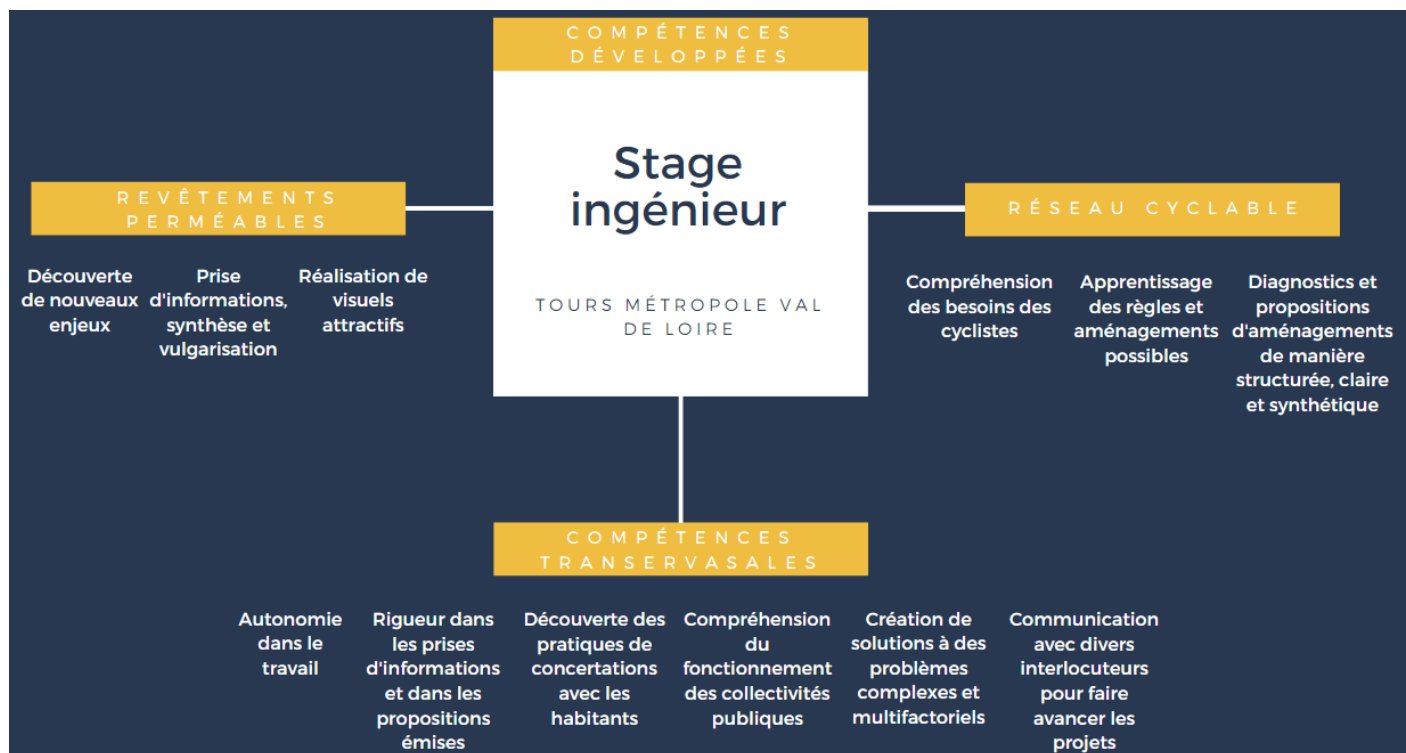


Figure 18 : récapitulatif des compétences développées durant le stage ingénieur de cinquième année.

Références explicitées dans ce rapport

Agence d'Urbanisme de l'Agglomération de Tours (ATU37) (2020). Atlas de la métropole nature pour végétaliser et désimperméabiliser la ville. [En ligne]. Consulté le 11 mars 2022 : <http://www.atu37.org/blog/2020/11/metropole-nature/>

Cerema (2020). Fiches pratiques aménagements vélo. [En ligne]. Consulté le 8 février 2022 : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/amenagements-faveur-du-velo-serie-fiches-pratiques-du-cerema>

Communauté d'Agglomération Porte de l'Isère (2018). Guide des aménagements cyclables. [En ligne]. Consulté le 9 février 2022 : <https://capi-agglo.fr/wp-content/uploads/2018/06/Guide-velos-CAPI-final-BD.pdf>

Hans Kremers (2020). Les vélorues un dispositif très utile mais négligé en France. [En ligne]. Consulté le 24 février 2022 : <https://www.isabelleetlevelo.fr/2020/09/14/les-velo-rues-un-dispositif-tres-utile-neglige-en-france/>

Plante&Cité (2021). Revêtements perméables des aménagements urbains : typologie et caractéristiques techniques. [En ligne]. Consulté le 14 mars 2022 : <https://fr.calameo.com/read/00621944060aace9350ce>

Plan Vélo et Mobilités Actives (2018). [En ligne]. Consulté le 8 février 2022 : https://www.gouvernement.fr/upload/media/default/0001/01/2018_09_dossier_de_presse_-_plan_velo_-_vendredi_14_septembre_2018.pdf

Strasbourg.eu (2011). Schéma directeur vélo de la CUS à l'horizon 2020. [En ligne]. Consulté le 10 février 2022 : <https://www.strasbourg.eu/documents/976405/1084289/0/cf7b396a-73ea-605b-75e8-ad8577967965>

Strava. Cartes mondiale des activités (Global heatmap). [En ligne]. Consulté le 14 avril 2022 : <https://www.strava.com/heatmap#5.10/-5.01599/45.72452/hot/all>

Trees&Design action group (2012). Trees in the Townscape, a guide for decision makers. [En ligne]. Consulté le 15 mars 2022 : https://www.tdag.org.uk/uploads/4/2/8/0/4280686/tdag_treestownscape2021.pdf

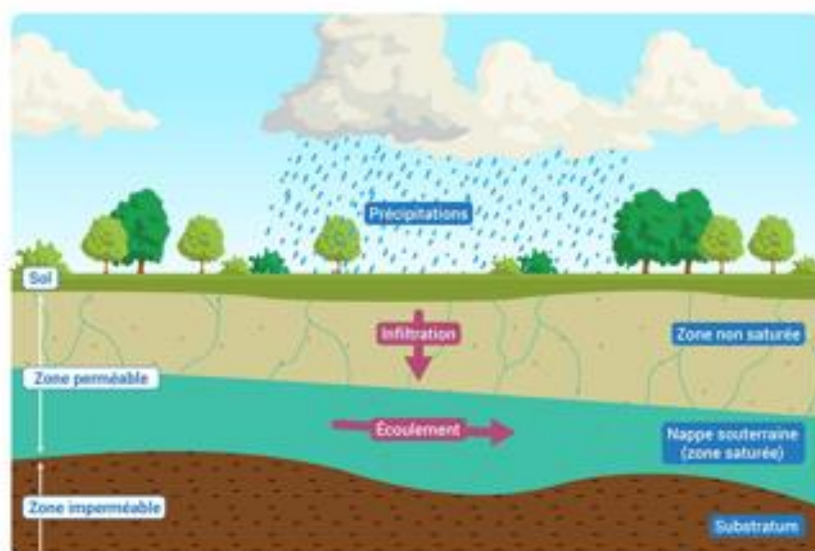


Figure 4 : le cheminement naturel de l'eau pluviale. Source : eaufrance.fr²

Créateur d'îlots de chaleur

L'autre impact qu'ont ces sols imperméables sur l'environnement urbain est la création d'îlots de chaleur rendant les périodes de fortes chaleurs de moins en moins supportables pour la population des villes. En effet, les surfaces imperméables absorbent davantage l'énergie du Soleil et la stocke. Puis, une fois ce stockage effectué le sol imperméable va se libérer de cette énergie en la transformant sous forme de chaleur (notamment lorsque la température diminue, c'est-à-dire la nuit). Ce phénomène va renforcer les températures en période de fortes de chaleurs.

De plus, chaque revêtement de sol possède une inertie thermique propre. C'est-à-dire que chaque matériau va avoir un temps de refroidissement plus ou moins long après l'emmagasinement de chaleur. Par exemple, le béton possède une forte inertie thermique ce qui fait que la chaleur reste plus longtemps dans le matériau et le climat local restera plus élevé longtemps.³

Tout comme la structure des matériaux, la couleur a également une importance prépondérante dans la restitution de la chaleur emmagasinée. C'est ce qui est appelé l'albédo. Plus le chiffre d'albédo est proche de 0 et plus la chaleur est absorbée ce qui va provoquer une restitution de l'énergie plus tard. Il est alors nécessaire de privilégier des revêtements de sol de couleur claire réduisant l'absorption d'énergie.

² Eaufrance.fr, Les eaux souterraines, 2019. Consulté sur : <https://www.eaufrance.fr/les-eaux-souterraines>

³ O2d-environnement.com, Rapport d'étude 1 : les îlots de chaleur urbains, 2020. Consulté sur : https://www.o2d-environnement.com/wp-content/uploads/2020/12/Rapport-d-Etude-Revêtements-de-sol-perméables-1-ICU_bd.pdf

Des inondations plus fréquentes

En raison de l'accroissement des zones imperméables dans les milieux urbains, certains réseaux arrivent à saturation assez rapidement. Ceci s'avère visible lors des fortes pluies soudaines qui s'abattent de plus en plus fréquemment en raison du changement climatique. Un amas d'eau conséquent ruisselle sur les surfaces imperméables et les réseaux ne peuvent absorber l'intégralité du volume. Ceci provoque alors des inondations en surface aux points les plus bas d'un territoire. De plus, la particularité de ces inondations est la soudaineté ainsi que la difficulté à prévoir en amont l'intensité des pluies.

Pourquoi mettre en place des revêtements perméables ?

Les revêtements perméables possèdent des atouts indéniables pour répondre aux difficultés que les milieux urbains rencontrent. Les revêtements perméables sont des solutions afin de répondre aux problématiques d'îlots de chaleurs, de pollutions des eaux de ruissellement ou bien encore aux inondations.

Mais la plupart du temps, lorsque les revêtements perméables sont évoqués, la végétalisation du milieu urbain vient rapidement au cœur de la réflexion. Or cet aspect est certes un élément important pour répondre aux problématiques citées ci-dessus, mais ne peuvent pas être considérées comme des solutions uniques.

La plupart des surfaces urbaines actuellement imperméables ne peuvent pas faire l'objet d'une végétalisation. C'est le cas par exemple des pistes cyclables, trottoirs, parkings ou tout simplement chaussée. Les usages des villes font qu'il est nécessaire de penser différemment la perméabilisation et de façon plus systématique.

De nombreux revêtements perméables existent aujourd'hui pour de nombreux usages qui répondent aux exigences urbaines. Des solutions techniques permettant d'allier circulation motorisée et perméabilisation existent désormais. Elles ne sont pas nécessairement beaucoup plus chères mais requiert de sortir d'une routine installée depuis des décennies.

Les objectifs de ce document sont multiples :

- Définir quels sont les impacts positifs que peuvent avoir la multiplication des revêtements perméables dans la ville.
- Présenter les diverses solutions existantes en type de revêtements de sol en fonction des usages requis.
- Répondre aux questions les plus souvent posées sur les sols perméables.
- Réaliser des propositions de mises en place à Tours.

Tous ces éléments vont permettre de proposer une aide à la décision dans les projets urbains de la ville de Tours afin de renforcer le nombre de surfaces perméables. Avec la présentation de travaux déjà réalisés dans d'autres communes, un retour d'expérience va permettre d'anticiper les potentielles problématiques mais aussi de comprendre quels avantages les sols perméables ont apporté.

Quelle place les revêtements perméables ont-ils dans les documents d'urbanisme ?

Le SDAGE Loire-Bretagne⁷, approuvé en mars 2022, insiste sur la nécessité d'intégrer davantage de sols perméables dans les milieux urbains. Dans les directives 3D-1 et 3D-2, il est rappelé l'importance de mettre en place des techniques alternatives au « tout tuyau » et d'infiltrer l'eau à la parcelle. De plus, il alerte sur la trop lente désimperméabilisation des sols urbains ce qui « apparaît trop faible pour réduire dans les délais réglementaires l'impact des déversements de pollution liés à la pluie ».

La Loi ALUR (Accès au Logement et Urbanisme Rénové) traite le sujet des sols perméables en fixant des règles. Auparavant, une zone commerciale ne pouvait avoir une surface de stationnement supérieure à 1,5 fois la surface plancher de la zone. Dorénavant, ce coefficient est ramené à 0,75. L'objectif de cette loi est d'accroître la proportion de sols perméables sur les zones de stationnement en forçant la main aux grandes enseignes de désimperméabiliser leur surface.

Certains SCoT élaborent des recommandations afin de limiter l'imperméabilisation des sols. C'est le cas du SCoT de Tours Métropole qui recommande de « limiter l'imperméabilisation des sols en tissu urbanisé (chaussées drainantes, places de stationnement enherbées, dalles en pierre poreuse, végétalisation de l'espace public) et développer les murs, terrasses et toitures végétalisées.⁸ »

Dans les PLU de plus en plus de communes, un Coefficient de Biotope par Surface (CBS) est institué. Il permet de fixer un minimum de surfaces perméabilisées dans des quartiers de la ville ou bien lors de l'élaboration d'un projet. Le PLU de Tours ne dispose pas encore de cette disposition. C'est à la suite de la loi ALUR que le CBS a été créé.

$$CBS = \frac{\text{surfaces écoaménageables}}{\text{surface de la parcelle}}$$

Le PADD de Tours évoque rapidement la nécessité de mettre l'accent sur la perméabilité des sols dans les opérations nouvelles surtout dans l'objectif de réduire les risques inondations.

Pour résumer, la question de la perméabilité des sols est traitée lors des nouvelles constructions. Le règlement du PLU veille à ce que l'infiltration des eaux pluviales se fasse sur la parcelle et donc limite le ruissellement de l'eau. En revanche, la désimperméabilisation des sols existants n'est qu'abordée par la loi ALUR mais ne concerne que les zones commerciales. La perméabilité des sols dans un milieu urbain contraint par les usages ne fait l'objet d'aucune attention particulière dans les documents réglementaire d'urbanisme de Tours. Pourtant la désimperméabilisation des sols est impérative pour la qualité de vie de la population.

Dans le référentiel pour un urbanisme écologique et solidaire (1^{ère} édition avril 2022), il est noté que la désimperméabilisation des sols (notamment l'infiltration à la parcelle) doit être systématique dans les espaces

⁷ Comité de bassin Loire-Bretagne, *Schéma Directeur d'aménagement et de gestion des eaux (Sdage) 2022-2027 Tome 1 : orientations fondamentales*, 2022. Consulté sur : https://sdage-sage.eau-loire-bretagne.fr/files/live/mounts/midas/Donnees-et-documents/TOME-1-Orientations_fond

⁸ Agglomération Tourangelle, *Schéma de Cohérence Territoriale de l'agglomération tourangelle Document d'orientation et d'objectifs*, 2013. Consulté sur : <https://www.sco-tours.fr/wp-content/uploads/2019/09/DOO-documentOrientationObjectifs.pdf>

2. Les espaces imperméabilisés de Tours

L'ATU et le Schéma Directeur Vert ont caractérisé et cartographié les zones imperméables de la métropole. Selon l'ATU, et à la suite d'une étude par vue satellite, 57 % des espaces sont considérés comme imperméabilisés dont 85 % représente les chaussées.



Figure 8 : Répartition de la surface de la métropole tourangelle. Source ATU¹¹.

Ces premiers chiffres permettent de mettre en exergue la part importante que représente l'enrobé dans la surface imperméabilisée de la ville de Tours. C'est cette proportion qu'il est nécessaire et possible de réduire.

Le travail effectué par l'ATU a été repris et affiné dans le cadre du schéma directeur vert de la métropole. A partir des cartes fournies, les zones les plus imperméables de Tours ont pu être recensées. Parmi celles-ci :

- Zone d'activité de Tours Nord
- Zone de la Tranchée
- Centre historique de Tours
- Bordure du Cher vers zone industrielle/activité

Ces secteurs ont été délimités en relevant les températures au sol lors d'une même journée d'été. Du fait que les sols imperméables soient plus chauds que les perméables, une carte plus précise de ces zones a alors pu être réalisée.

Elles permettent donc d'avoir une idée précise des zones prioritaires à désimpermeabiliser pour améliorer la

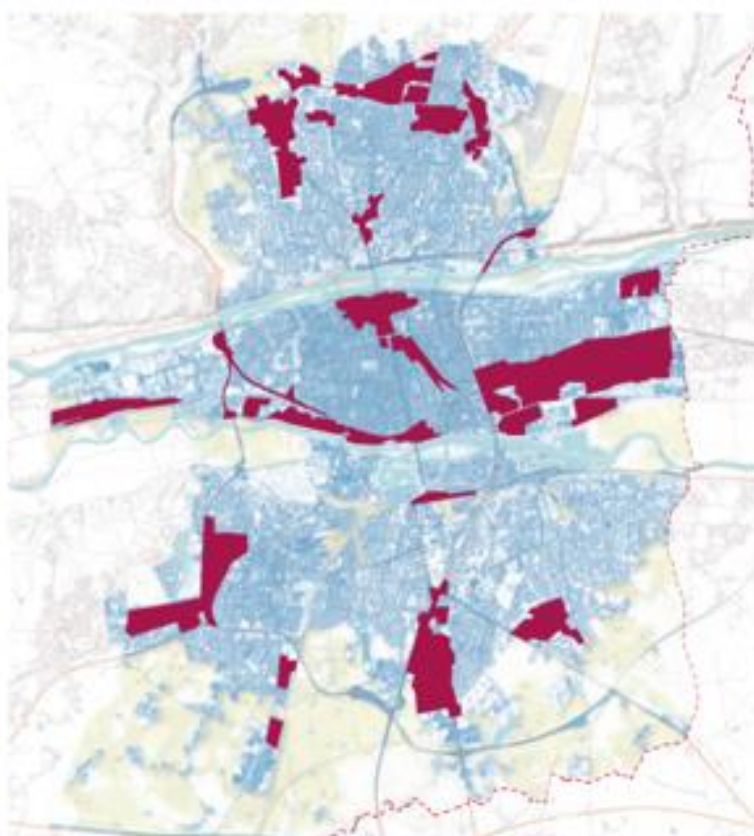


Figure 9 : En rouge, les principales surfaces imperméabilisées. Source ATU

¹¹ Agence d'Urbanisme de l'Agglomération de Tours, Repenser l'écosystème urbain, 2020. Consulté sur : <http://www.atu37.org/blog/2020/11/metropole-nature/>

Certains des matériaux présentés auront parfois des difficultés à faire face à un évènement pluvieux très intense. Cependant, les petites pluies « traditionnelles », qui représentent près de 80 %¹² de la pluviométrie annuelle, seront totalement infiltrées par les revêtements perméables.

1. Structure sous le revêtement perméable

En fonction du type de sous-sol, la structure sous le revêtement perméable doit être adaptée afin de garantir un bon fonctionnement de l'ensemble du système.

En cas de sous-sol très perméable, l'eau s'infiltré directement dans le sous-sol sans besoin de structure supplémentaire. Il n'y a besoin que d'une seule fondation. C'est le cas du schéma numéro 1 ci-dessous.

Lors de la présence d'un sous-sol ayant une bonne perméabilité, un système de drainage peut être envisagé. En créant une couche de sous-fondation supplémentaire, le drain serait positionné entre la couche de fondation et cette nouvelle couche de sous-fondation. Ceci permet d'éviter à l'eau de stagner dans la couche de fondation. C'est le cas du schéma numéro 2 ci-dessous.

Si le sous-sol est considéré comme moyennement à peu perméable, l'eau aura du mal à s'infiltrer dans le sous-sol. Pour éviter que le système ne fonctionne pas correctement, il est nécessaire d'ajouter un drain en bas de la couche de sous-fondation afin de récolter une partie conséquente de l'eau infiltrée. Une partie réduite de l'eau s'infiltrera quand même dans le sous-sol. C'est le cas du schéma numéro 3 ci-dessous.

Lorsque le sous-sol est qualifiée d'imperméable ou bien qu'il n'est pas préférable d'y faire pénétrer de l'eau, alors un système de drain est obligatoirement installé. Il est conseillé de réaliser une pente d'environ 2,5 % pour que l'eau soit toujours évacuée. C'est le cas du schéma numéro 4 ci-dessous. Même si ce système ne vise pas l'intégration de l'eau dans le sous-sol, il permet toujours de réduire le ruissellement de l'eau et donc son emmagasinement de polluants.

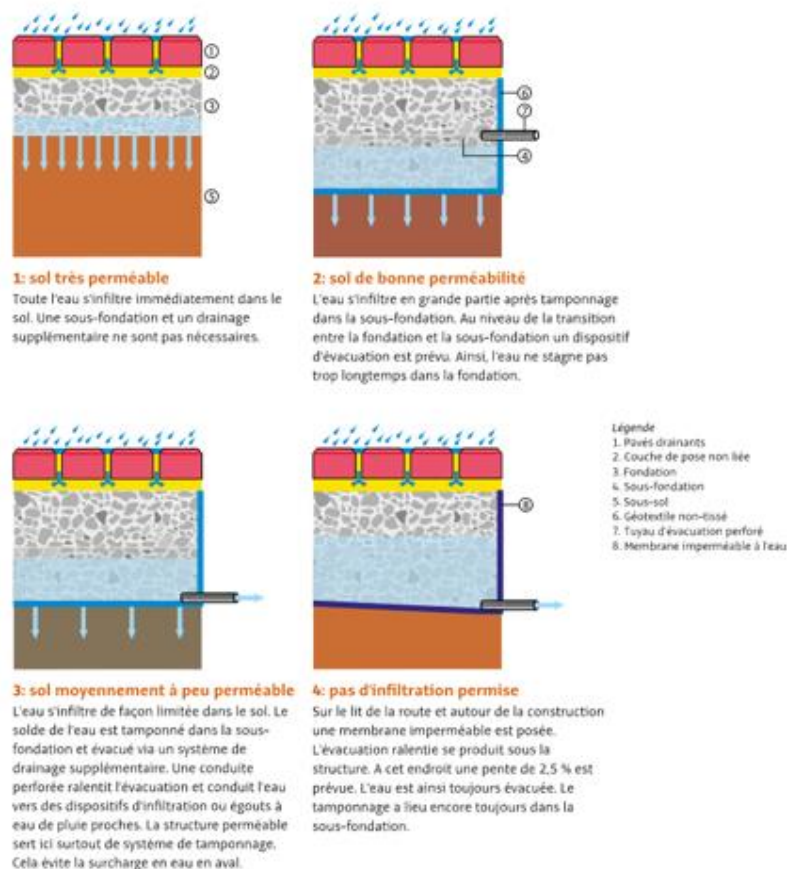


Figure 15 : Schéma des différents dispositifs d'infiltration de l'eau. Source : febe.be¹³

SYNTHÈSE DES USAGES DES REVÊTEMENTS PERMÉABLES

	Piétons	Cyclistes	Véhicule trafic léger	Parking	PMR	Autres
Matériaux						
Dalles alvéolées	✓	✗	✗	✓	✗	
Pavés joints larges ou poreux	✓	✗	✗	✓	✓	
Chaussée végétale	✓	✗	✗	✓		Voies pompiers Cimetière
Béton poreux	✓	✓		✓	✓	
Enrobé drainant	✓	✓		✓	✓	
Résine drainante	✓	✓	✗	✓	✓	Tour d'arbres
Mélange terre-pierre	✓	✗	✗	✓	✗	Voies pompiers

Légende :  Possible  Impossible  Compiqué

Bureau d'études Tours Métropole Val de Loire - Juillet 2022

Annexe 6 : tableau synthétique usages/matériaux.

Comparatif enrobé classique et revêtement perméable

Enrobé classique

Revêtement perméable

Prix

Environ 30€/m²



Environ 45€-65€/m²

(béton poreux et enrobé drainant)

Types d'usage

Peut convenir à tous les usages



Ne convient pas aux voiries avec fort trafic et aux girations

Entretien

Un entretien minimal



Nécessite une attention plus particulière

Surtout pour les revêtements végétalisés

Mise en place

Appel à des machines spécialisées



Pas de difficultés supplémentaires

Durée de vie

Selon les usages : plus de 20 ans



Manque de recul mais au moins 10 ans

Fournisseurs

Fournisseurs historiques et connus



Présence dans le secteur de Tours

Influence sur l'environnement

Perturbe le cycle naturel de l'eau et crée des ilots de chaleur



Infiltration de l'eau à la parcelle et rafraîchissement de l'environnement

Perméabilité

Imperméable



Jusqu'à 0,003 m/s
environ 50 litres d'eau par m² chaque seconde

Côté négatif < Côté positif

Annexe 7 : Comparatif entre enrobé classique et revêtements perméables.

LA FOIRE AUX QUESTIONS DES REVÊTEMENTS PERMÉABLES

LES REVÊTEMENTS PERMÉABLES LAISSENT-ILS S'INFILTRER LES POLLUANTS ISSUS DES ACTIVITÉS URBAINES DANS LE SOUS-SOL ?

NON. Selon plusieurs études menées à Rezé et à Bordeaux par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, les polluants lourds sont moins nombreux dans une chaussée poreuse que dans une chaussée classique. Ceci s'explique par le ruissellement moindre de l'eau. De plus, les métaux lourds semblent s'accrocher à la structure et sont présents en plus faible quantité dans le réservoir que dans le système classique. Dans ces études, la part de polluants lourds est globalement 70 % moins importante que dans une chaussée imperméable ordinaire. Il est expliqué que les polluants s'attachent au revêtement poreux, ce qui provoquera un colmatage progressif.

UN COLMATAGE DU REVÊTEMENT EST-IL POSSIBLE ?

OUI MAIS. Selon le GRAIE et Bernard Chocat, le colmatage est une réalité (notamment en raison des polluants qui s'y accrochent) mais ne représentent pas un réel problème puisqu'il est progressif et relativement limité. De même, il est précisé que la plupart des revêtements sont largement perméables (plusieurs milliers de fois le volume de pluies les plus intenses) et qu'un léger colmatage ne représentera pas une menace pour le système. Un entretien régulier est néanmoins conseillé pour garder une performance optimale du dispositif.

UN REVÊTEMENT PERMÉABLE DEMANDE-T-IL D'AVANTAGE D'ENTRETIEN QU'UN REVÊTEMENT CLASSIQUE ?

OUI. Un revêtement perméable demande davantage d'entretien s'il y a une volonté de garder l'efficacité optimale du système. Un entretien poussé est requis lorsqu'il y a une utilisation de végétal dans les structures. Pour l'ensemble des revêtements perméables, un entretien préventif est souvent exigé (balayage, aspiration, tonte etc.) et un entretien précuratif est conseillé (notamment décolmatage). De plus, certains revêtements perméables sont plus facilement réparables que les chaussées actuelles. Ainsi il est possible que l'entretien devienne de la réparation.

LES REVÊTEMENTS PERMÉABLES PEUVENT-ILS ÊTRE ENDOMMAGÉS À CAUSE DU GEL ?

OUI MAIS. Selon Dang Nguyen, chercheur à l'université de Caen, le béton perméable aurait une résistance variant entre 83 et 153 cycles de gel/dégel. Cependant, ce résultat peut amener à être nuancé dans la pratique. En effet, dans l'expérience de Nguyen, le matériau a été soumis à des températures extrêmes qui n'auront probablement jamais lieu à Tours (descentes régulières jusqu'à -18°C par exemple). La chambre d'agriculture du Centre-Val de Loire estime que pour la période 2021-2050 le nombre de jours de gel serait aux alentours de 25 par an (en prenant compte le RCP 4.5 du GIEC). Le collectif GRAIE réduit également l'idée d'un risque important d'endommagement du revêtement. En effet l'eau ne stagnerait pas dans la couche de surface (qui assure la résistance mécanique) et irait s'installer dans les couches les plus profondes. Un risque d'endommagement important du système est donc très fortement réduit.

Bureau d'études Tours Métropole Val de Loire - Juillet 2022

Annexe 8 : une des fiches de questions relatives aux revêtements perméables.

REVÊTEMENTS PERMÉABLES EN MILIEU URBAIN : **ENROBÉ DRAINANT**

Description : Un enrobé drainant (appelé également béton bitumineux drainant) est composé de vides dans sa structure qui lui permet d'acheminer l'eau de pluie vers le sol. La plupart du temps, l'enrobé drainant est utilisé en couche de roulement contrairement au béton drainant qui peut être utilisé à la fois en couche de roulement et en couche d'assise. Les enrobés drainant sont particulièrement mis en place sur les autoroutes afin de lutter contre l'aquaplaning à haute vitesse.

Lieux d'usages :

- Cheminements piétons, cyclistes et accès pompiers
- Place de parking (exclusivement épi et bataille)
- Passage de véhicules légers et occasionnellement poids lourds
- Voies de circulations hors zone de manœuvre

Prix :

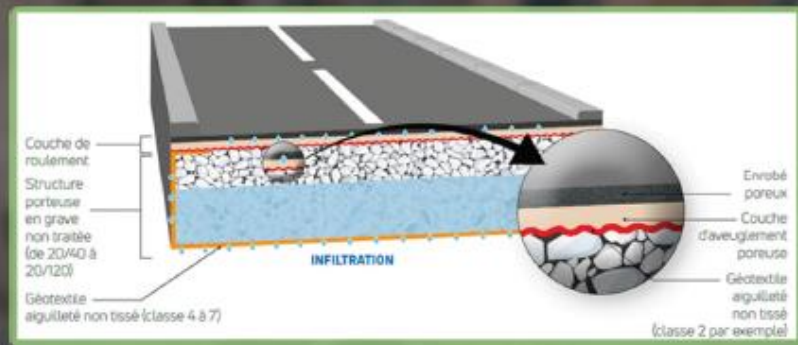
Entre 45 € et 55 €
le m²

Perméabilité :

Au moins 0,006 m/s

Pérennité :

Entre 15 et 20 ans



Entretien :

Éviter le colmatage des espaces interstitiels :

- Nettoyage haute pression au moins 1 fois par an à une pression maximum de 120 bars.
- Suivi d'une aspiration forte.

Avantages :

- Très bonne roulabilité.
- Très bonne accessibilité PMR.
- Bonne perméabilité.

Inconvénients :

- Prix plus élevé qu'un enrobé classique.
- Supporte moins les cisaillements.
- Pas d'autre couleur donc albédo fort.

Retour d'expérience :

A Kreuzlingen, une étude a montré qu'au bout de 6 ans l'enrobé drainant présentait un important colmatage en dépit d'un nettoyage intensif au moyen « d'un véhicule spécial ». Principalement utilisé dans un but de réduction du bruit, le béton drainant a retrouvé de la performance lors d'un nettoyage à haute pression mais il demeurerait abîmé et beaucoup moins performant qu'à l'origine. Cela montre l'importance de l'entretien avec nettoyeur haute pression et aspiration.

Bureau d'études Tours Métropole Val de Loire - Juillet 2022

Annexe 9 : fiche récapitulative sur l'enrobé drainant.

REVÊTEMENTS PERMÉABLES EN MILIEU URBAIN : PAVÉS POREUX OU JOINTS LARGES

Description : Les pavés à joints larges sont des matériaux drainants et permettent une bonne infiltration des eaux pluviales. Les pavés sont conçus en béton et ils sont espacés d'un espacement régulier situé entre 5 et 30 mm. Cet espacement est régulier sur l'ensemble de l'espace en raison de l'utilisation d'écarteurs lors de la pose. L'eau pluviale s'infiltré alors par les joints. Ils doivent représenter 10 % de la surface totale. Ces joints larges peuvent également être engazonnés. Concernant les pavés poreux, les joints sont réduits car l'eau s'infiltré par la structure même du pavé.

Lieux d'usages :

- Cheminements piétons et accès pompiers.
- Place de parking.
- Voies de circulations véhicules léger et trafic faible.

Pérennité :

Peu de recul car relativement nouveau.

Prix estimés sans la pose :

Joints larges : 25-50€ / m²

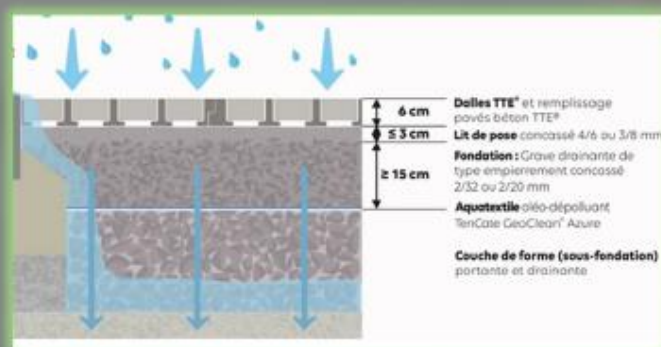
Poreux : 25-50€ / m²

Perméabilité :

Pavés joints larges :

$2,55 \times 10^{-3}$ m/s

Pavés poreux : $5,4 \times 10^{-5}$ m/s



Entretien :

Peu d'entretien sur ce revêtement. Un nettoyage basse pression pour enlever les éventuelles impuretés dans les joints.

Avantages :

- Peu d'entretien.
- Réparabilité élevée.
- Accès PMR convenable.
- Possibilité de mettre en place des joints enherbés.

Inconvénients :

- Prix plutôt élevé.
- Peu de recul sur la pérennité du matériau.

Lieux d'utilisation recensés :

- Parking Retail Park à Saint Berthevin (53)
- Parking Niko à Saint-Nicolas (Belgique)
- Promenade cyclable à Nieuport (Belgique)
- Parking Stokomani Basse Goulaine (44)

Peu de retours
d'expérience détaillés

Bureau d'études Tours Métropole Val de Loire - Juillet 2022

Annexe 10 : fiche récapitulative sur les pavés poreux et pavés joints larges.

9. Le stabilisé : un revêtement ancien aux techniques d'installation et d'entretien perdues

Le stabilisé est un matériau ancien qui connaît ses premières installations au XVII^e siècle par le paysagiste André Le Notre. Principalement utilisé dans les parcs et jardins historiques, il est fortement apprécié en raison du caractère naturel qu'il dégage.

Mais le sable stabilisé utilisé dans les jardins de Tours connaît quelques problématiques, ce qui laisse quelques mauvais a priori dans les services quant à son utilisation.

En effet, après des pluies, les sables stabilisés les plus récents sont impraticables en raison des flaques d'eau et de la boue présentent sur le cheminement. Des ornières sont créées, nécessitant de les colmater. Mais aujourd'hui la réparation se fait à l'aide de graves dioritiques, ce qui n'est pas dans l'esprit de la constitution originelle du matériau. En plus de sembler peu efficace, l'utilisation de ce matériau peut altérer l'aspect du stabilisé et même poser des problèmes pour le désherbage. Ce type de réparation n'était pas pratiquée il y a quelques décennies mais il est désormais difficile d'avoir des informations sur l'entretien des sables stabilisés auparavant.

Les parcs et jardins les plus anciens de Tours (Prébendes, Botanique ou Mirabeau) semblent néanmoins moins subir les dégâts des pluies et piétinements des visiteurs. Ceci nous interroge sur la façon dont ces stabilisés ont été mis en place ainsi que l'entretien dont ils ont pu bénéficier. S'en inspirer permettrait de mettre en place les mêmes techniques dans le but de multiplier les stabilisés de qualité dans les parcs de la ville.

Le stabilisé est un revêtement qualifié de « semi-perméable », c'est-à-dire qu'il perd au fil du temps de la perméabilité. Néanmoins, s'il est correctement entretenu, une certaine perméabilité peut demeurer. C'est pour cela qu'il est utilisé au pied des arbres afin de permettre à l'eau d'atteindre les racines.

Il existe deux types de sable stabilisé. Les sables stabilisés par un liant hydraulique et les sables stabilisés mécaniquement. Les premiers ne sont pas perméables. Ils utilisent un liant hydraulique qui leur permet d'avoir une plus grande résistance aux piétinements et aux passages de véhicules. Ils sont par ailleurs davantage utilisés sur des places, des aires de stationnements ou même des pistes cyclables.

En revanche, le sable stabilisé compacté mécaniquement est lui semi-perméable et c'est celui que nous retrouvons le plus souvent dans les parcs et jardins de la ville. Il n'est pas adapté à des pentes de plus de 5 % en raison des creusements possibles par les eaux de ruissellement.

Les difficultés de maintenir un cheminement praticable avec les stabilisés requièrent de mettre en place des techniques d'entretien. Les opérations de griffage et de ratissage sont recommandées afin de réduire les ornières et de redonner de la perméabilité au revêtement. Il est même conseillé de remplacer le matériau très régulièrement⁵¹ (parfois conseillé tous les 2 ans⁵²).

Certains parcs font face à des difficultés d'entretien de leur sable stabilisé. C'est le cas du jardin des Tuileries qui, face à l'afflux des visiteurs occasionnant un piétinement massif, décident de remplacer une partie de leur

⁵¹ http://www.ressources-caue.fr/GED_K/103375792155/revetements-doux_web.pdf

⁵² https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/voirie/referentiel-espaces-publics/20091201_gl_referentiel_espaces_publics_materiaux_sables.pdf

Un lieu pour démontrer l'efficacité des matériaux perméables : l'aire de stationnement Avenue de la Salle



Pourquoi serait-il utile de reprendre cette aire de stationnement ?

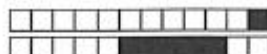
Auparavant, le parking était dédié aux commerces et aux quelques résidents de maisons individuelles. La construction de 78 logements collectifs a fait évoluer le secteur et il serait judicieux de proposer un aménagement plus qualitatif du parking.

Dans le même temps, le référentiel pour un urbanisme écologique et solidaire insiste sur l'objectif de désimperméabiliser un maximum de surface. Les aires de stationnement sont des lieux où il n'est pas difficile de mettre en place des revêtements perméables.

Cependant, les projets de désimperméabilisation des sols sont peu fréquents sur le territoire de Tours et certains matériaux n'ont par ailleurs jamais été utilisés. Rendre un parking perméable ne se résume pas à utiliser des dalles alvéolées gazonnées. Il existe des matériaux très perméables, ayant une bonne pérennité et convenant entièrement à la réalisation d'une aire de stationnement.

Pour toutes ces raisons, le réaménagement de ce parking de faible superficie représente une véritable opportunité pour le secteur mais aussi pour le développement des matériaux perméables à Tours. Un projet test sur cette surface réduite permettrait d'apporter de la documentation sur le matériau en lui-même, sur sa pose et sur sa véritable efficacité. Ce retour d'expérience sur le sol tourangeau développera la culture du revêtement perméable auprès des principaux acteurs de ce projet et permettra d'enclencher la marche avant à plus large échelle.

Parmi les matériaux perméables ayant peu de retours d'expérience et pouvant convenir à une aire de stationnement comme celle-ci, nous pouvons citer le béton poreux ou les pavés à joints larges.



+1/1/60+

**Evaluation des compétences du stagiaire - Version Tuteur Entreprise****2021**

Nom et prénom étudiant :

Océdine Magnenon

Nom de l'entreprise : TOURS METROPOLE VAL DE LOIRE

Maître de stage : Elise TATU

Les compétences évaluées sont au nombre de dix. Les niveaux d'évaluation retenus sont au nombre de cinq selon les définitions résumées dans le tableau ci-dessous.

Notion	Connaissance de l'activité, mais sans réalisation personnelle.
Application	Réalisation de l'activité avec de l'aide
Maîtrise	Réalisation de l'activité en autonomie
Expertise	Contribution personnelle à l'évolution de l'activité, voire transmission du savoir-faire associé.
Sans objet	Activité non abordée dans le cadre du stage.

Grille des compétences**Compétence n° 1**

Capacité d'analyse et de synthèse mobilisant explicitement la connaissance et la compréhension d'un large champ de sciences fondamentales

☐ Notion ☐ Application ☒ Maîtrise ☐ Expertise ☐ Sans objet

Compétence n° 2 Maîtrise des méthodes et des outils transversaux de l'ingénieur

☐ Notion ☐ Application ☒ Maîtrise ☐ Expertise ☐ Sans objet

Compétence n° 3 Aptitude à mobiliser les ressources d'un champ scientifique et technique spécifique.

☐ Notion ☐ Application ☐ Maîtrise ☒ Expertise ☐ Sans objet

Compétence n° 4 Capacité à concevoir, concrétiser, tester et valider des solutions, des méthodes, produits, systèmes et services innovants.

☐ Notion ☐ Application ☐ Maîtrise ☒ Expertise ☐ Sans objet



+1/2/59+

Compétence n° 5 Capacité à effectuer des activités de recherche fondamentale ou appliquée.

☐ Notion ☐ Application ☒ Maîtrise ☐ Expertise ☐ Sans objet

Compétence n° 6 Capacité à prendre en compte les enjeux économiques de l'entreprise.

☐ Notion ☐ Application ☒ Maîtrise ☐ Expertise ☐ Sans objet

Compétence n° 7 Aptitude à prendre en compte les enjeux d'une "démarche RSE" au sein des organisations.

☐ Notion ☐ Application ☐ Maîtrise ☐ Expertise ☒ Sans objet

Compétence n° 8 Aptitude à s'intégrer dans une organisation, à animer et à faire évoluer une équipe pour stimuler l'innovation

☐ Notion ☐ Application ☒ Maîtrise ☐ Expertise ☐ Sans objet

Compétence n° 9 Aptitude à travailler dans un contexte international

☐ Notion ☐ Application ☐ Maîtrise ☐ Expertise ☒ Sans objet

Compétence n° 10 Capacité à se connaître, à s'autoévaluer, à gérer ses compétences (notamment dans une perspective de formation tout au long de la vie), à opérer ses choix professionnels.

☐ Notion ☐ Application ☒ Maîtrise ☐ Expertise ☐ Sans objet

Notation du stagiaire

Compétence n° 11 NOTE : 19/20

☐ f ☐ v ☐ Réserve

.....
a. Exceptionnel : [18 à 20] ; Très Bien : [16 ; 17] ;
Bien : [14 ; 15] ; Assez Bien : [12 ; 13] ;
Passable : [10-11] ; Insuffisant : [0 à 9]

Ce document peut être envoyé à :

- stages.di.polytech@univ-tours.fr pour la spécialité Informatique
- stages.dms.polytech@univ-tours.fr pour la spécialité Mécanique et Conception des Systèmes
- stages.dee.polytech@univ-tours.fr pour la spécialité Electronique et Génie Electrique
- stages.dae.polytech@univ-tours.fr pour la spécialité Génie de l'Aménagement et Environnement

Théo a contribué activement à l'avancement des projets de la ville de Tours, et ce en parfaite autonomie. Sa sagacité et son implication lui ont permis d'exécuter un travail de qualité, qui ne manquera pas d'être valorisé et mis en application prochainement. Très bonne intégration dans l'équipe et d'humeur toujours agréable, ce fut un excellent stage. Eline TATU



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Théodiric Magrenon
2021-2022

Étude d'aménagements cyclables sur le réseau structurant métropolitain et réalisation d'un guide sur les sols perméables en milieu urbain.

Résumé : Au sein de Tours Métropole Val de Loire, j'ai pu mener deux missions principales. La première concernant les aménagements cyclables m'a permis de constituer une base de connaissances riche sur la thématique, de partager mes idées d'amélioration de la mobilité cyclable auprès de mes collègues et de présenter les diagnostics/projets devant des techniciens. La seconde consistait à réaliser un guide sur les revêtements perméables en milieu urbain. Ne disposant pas de connaissances particulières sur le sujet au début de mon stage, j'ai acquis des compétences techniques et une forte compréhension des enjeux y afférents. Au cours des deux missions, l'esprit de synthèse, de rédaction et de créativité ont eu toute leur place. La rigueur des informations délivrées étaient attendues.

Mots Clés : Aménagements cyclables, axes structurants, revêtement perméables, concertation citoyenne

Abstract : During my internship in Tours Metropole Val de Loire, I led two main missions. The first was about cycling facilities and allowed me to get an important amount of information about the subject, to share to my work mates my own improvement ideas about bike mobility and to present diagnoses/projects in front of technicians. The second was the production of a guide on permeable coatings in urban area. Beginner on February, I learnt many technical skills and a huge comprehension on their challenges. During these two missions, synthesis, writing ability and creativity were very important. Rigorous information was expected.

Keywords : Cycling facilities, structuring axes, permeable coatings, citizen consultation

Tuteur entreprise :

Éline Tatu

Chargée d'opérations au bureau d'études

Tuteur académique :

Denis Martouzet

Tours Métropole Val de Loire :
1-3 rue des Minimes, 37000 Tours