

PROTOTYPE DE VOIE DE MOBILITÉ DOUCE EN CONSTRUCTION BOIS

Décision No : 8V80/00.5196.PZ/0019/AD33E6E80/2-21.31

Réalisation du 1er août 2021 au 31 décembre 2021

Rapport de projet
Steve Forrer, Pierre Chassot, Nicolas Goulpié
Urbanwood Sàrl

Le 21 décembre 2021

Table des matières

<i>Résumé</i>	3
<i>Situation initiale</i>	4
Contexte politique	4
La part de la construction en bois	7
Le peu d'innovation	8
<i>Objectif du projet</i>	9
<i>Groupes cibles</i>	10
Les Communes	10
Les associations intercommunales	10
Les associations	11
Bureaux d'ingénieurs	14
<i>Méthode</i>	15
Définition des besoins	15
Ville de Morges	15
Village de Ferreyres	16
BlueFactory, Fribourg	17
Consolidation des besoins	19
Design du module Urbanwood	19
Système de fondations	20
<i>Déroulement / Descriptif du projet</i>	24
<i>Résultats</i>	29
4.1 Prototypes fonctionnels grandeur nature de plusieurs modules assemblés, pose en situation réelle.	29
4.2 Validation du respect des normes VSS	31
4.3 Plans et processus de fabrication et estimation des coûts par mètre linéaire	32
4.4 Bilan carbone et stratégie de recyclage	34
4.5 Revêtement antiglisse et étanchéité	39
4.6 Ébauche de communiqué de presse	41
<i>Conclusions</i>	43

Résumé

La mobilité douce est en plein essor dans notre pays. En ville comme en campagne, les aménagements de bandes cyclables sur les routes existantes ont fleuri, à défaut d'avoir d'autres solutions d'infrastructures pouvant être mises en œuvre rapidement.

Fort de ce constat, Urbanwood a développé un concept de modules préfabriqués en bois, à déployer sur tout type de terrain sous forme de voie cyclable et/ou piétonne.

Dans le cadre du Plan Action Bois de l'OFEV, Urbanwood a construit, de manière artisanale mais dans l'optique d'une production standardisée, un tronçon prototype de voie de mobilité douce à l'échelle 1:1. Ce prototype a permis de tester et valider la statique des modules de 5m, le revêtement antiglisse, l'étanchéité, ainsi que le transport et la pose sur des vis de fondation.



Situation initiale

Contexte politique

En Suisse, la mobilité douce couvre seulement 6% du transport de personnes. Même si ce pourcentage a légèrement augmenté suite à la pandémie du Covid19, cette proportion reste bien en dessous des objectifs affichés par la plupart des cantons.

Parts des moyens de transport aux personnes-km effectués
(sur route et rail, en 2019)

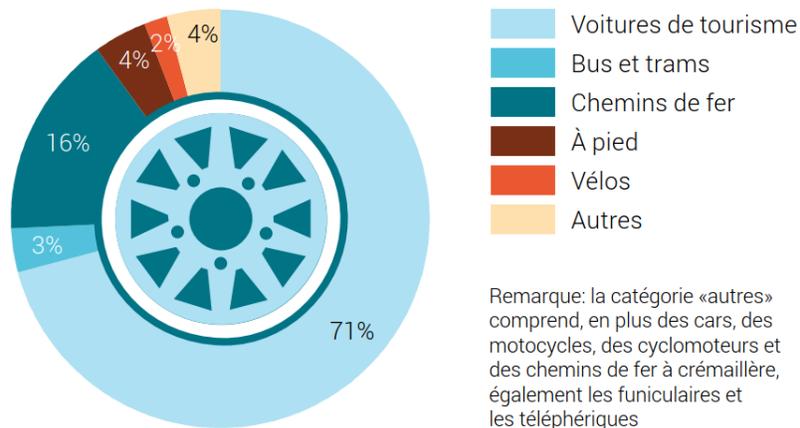


Figure 1. Office fédéral de la statistique, Neuchâtel 2021, 10 pages, Numéro OFS 837-2100

Le 23 septembre 2018, la population et les cantons acceptaient à 73,6% l'arrêté fédéral sur les voies cyclables, les chemins pour piétons et les chemins de randonnée pédestre. La Confédération a ainsi acquis la possibilité de fixer les principes applicables aux réseaux de voies cyclables, ainsi que de soutenir et coordonner les mesures des cantons, des communes et des divers acteurs.

Les bienfaits de la mobilité douce ne sont plus à démontrer. Un déplacement régulier à la force musculaire a un effet bénéfique incontesté sur la santé et cela est même très recommandé par les milieux médicaux. Lorsqu'elle remplace un trajet motorisé individuel, la mobilité douce contribue également à la réduction des embouteillages, de la pollution de l'air et de la pollution sonore. En outre, la promotion de la mobilité douce fait désormais partie intégrante des plans de réduction des émissions de CO2 du pays.

De nombreuses régions de Suisse ont établi depuis longtemps des plans d'infrastructure pour la mobilité douce. On peut citer en exemple le masterplan infrastructure cyclable de la ville de Berne, le projet d'agglomération Lausanne Morges (PALM), ou le plan d'agglomération de la ville de Nyon.

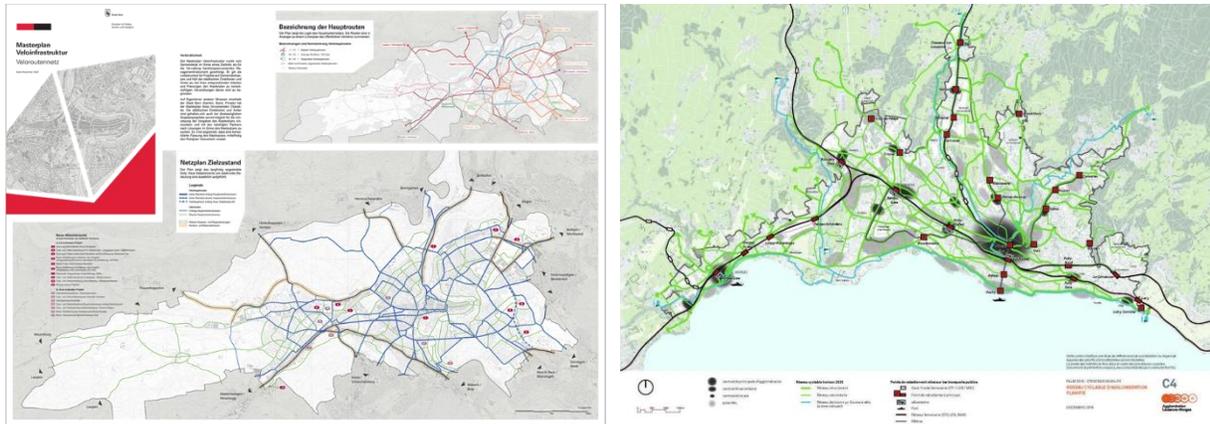


Figure 2. Masterplan infrastructure cyclable de la ville de Berne et projet d'agglomération Lausanne Morges (PALM).

Malgré la volonté politique affichée et les plans d'infrastructure validés, les réalisations avancent très lentement et peu de voies de mobilité douce sont construites dans le planning initialement prévu. En effet, les tracés spécifiques à la mobilité douce sont généralement inclus dans des chantiers beaucoup plus vastes de développement routier et de transports publics. La conséquence est que ce projet global se retrouve ralenti par des longues procédures et des difficultés de financement. En outre, l'ensemble des mesures de mobilité douce sont souvent très disparates, difficiles à coordonner et à mettre en œuvre. Ceci engendre l'existence de nombreux segments de voies de mobilité douce mais qui sont rarement reliés entre eux et cette discontinuité péjore grandement leur utilisation.

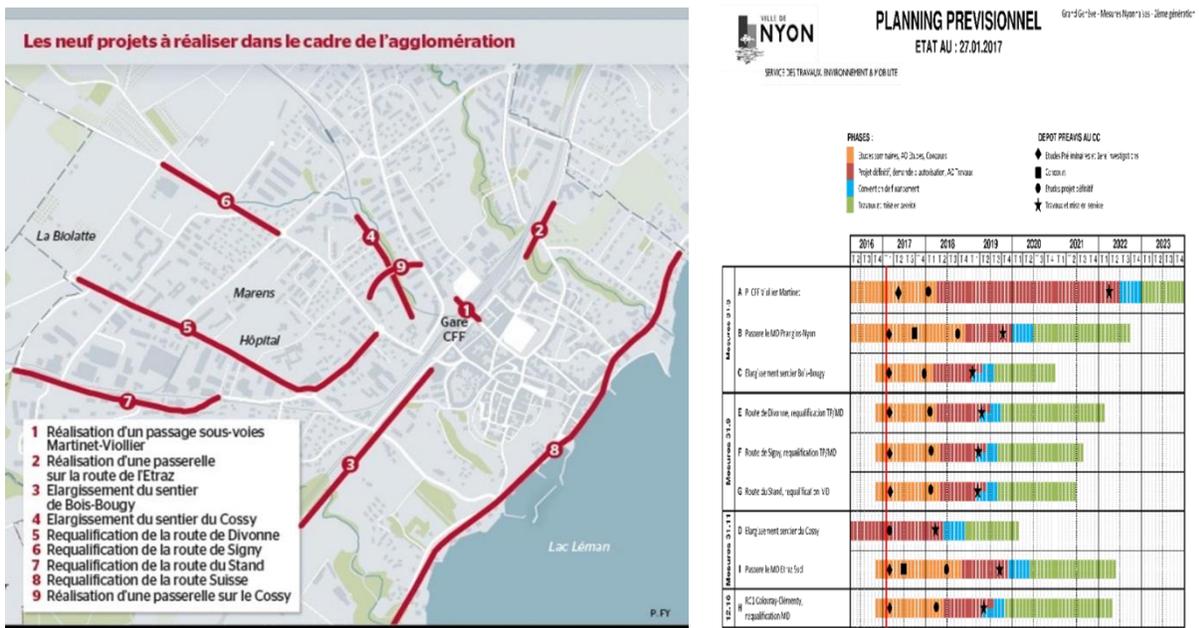


Figure 3. Projets de mobilité douce à réaliser dans le cadre du plan d'agglomération de la ville de Nyon et son planning prévisionnel de 2017.

Il est intéressant de remarquer que le planning prévisionnel 2017 de la ville de Nyon prévoyait la réalisation voire même la mise en service de la majorité des projets de voie de mobilité douce en 2021 (segments verts). Selon nos informations, à fin 2021 aucun des projets n'avait dépassé le stade du projet définitif ou de financement (segments rouges et bleus). Cela montre encore une fois que les procédures pour réaliser des projets définitifs de voies de mobilité douce peuvent prendre beaucoup trop de temps, au point que, quand le projet se réalise enfin, il ne répond plus forcément à la demande. La construction à court terme de voies provisoires permettrait de répondre rapidement au besoin et de vérifier en temps réel l'adéquation de la structure (tracé, capacité, etc.)

Une autre manière efficace d'accélérer la réalisation de tracés continus de mobilité douce serait de se concentrer sur les segments manquants le long des passages les plus dangereux. Ainsi, une partie des itinéraires proposés par « La Suisse à vélo » pourraient également être utilisés pour les déplacements quotidiens.

Si les systèmes provisoires, construits en bois, semblent plus difficiles à poser dans les centres urbains, une telle approche fait beaucoup de sens en périphérie. Les principes de conception et d'aménagement des itinéraires de mobilité douce recommandent qu'en dehors des localités et sur les tronçons très fréquentés, la séparation physique des piétons et cyclistes du trafic motorisé. La piste cyclable est donc l'aménagement offrant la plus grande sécurité pour les cyclistes mais également, le plus souvent, la plus onéreuse et compliquée à mettre en œuvre.

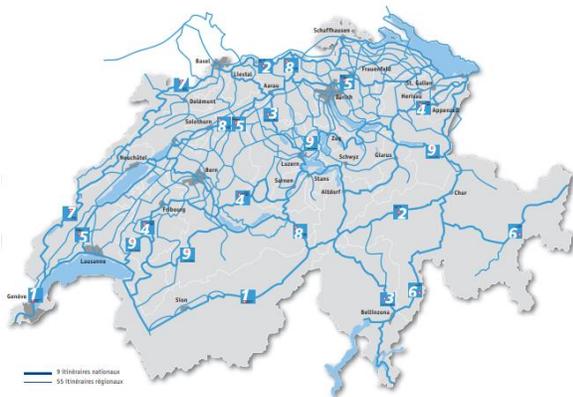


Figure 4. Itinéraires existants proposés par la Suisse à vélo. Exemple de piste cyclable séparée du trafic motorisé.

La part de la construction en bois

Si le bois représente plus de 15% des structures portantes dans la construction en Suisse, son utilisation pour des infrastructures de mobilité semble négligeable au vu des statistiques nationales.

Alle Gebäudekategorien: Materialanteil Holz in der Tragkonstruktion
In %



		2018	2019	2020
Wohnen bis zwei Wohneinheiten		20,0	19,8	19,6
Wohnen ab drei Wohneinheiten		8,2	8,7	8,6
Handel, Verwaltung		14,4	13,3	14,9
Unterricht, Bildung		21,2	21,4	23,9
Freizeit, Sport, Erholung		18,5	18,0	22,5
Spitäler, Heime, Gesundheit		11,7	10,0	14,1
Gewerbe, Industrie		15,5	14,4	16,4
Landwirtschaft		35,1	37,6	36,7
Total alle Gebäudekategorien		15,5	15,3	15,6

Quelle: Gebäudedatenbank BFH-AHB

Figure 5. Part du bois dans la construction en Suisse.

La grande majorité du bois utilisé pour des infrastructures de mobilité - à l'exception des traverses de chemin de fer - concerne des passerelles piétonnes qui sont à chaque fois des ouvrages d'art ou des ouvrages provisoires.



Figure 6. Passerelle piétonne de Corcelles Neuchâtel, Pont cycliste et piéton provisoire sur le canal de Hagneck Bienne, Passerelle des sports Genève.

Le peu d'innovation

Le thème des voies de mobilité douce a été littéralement déserté par l'innovation pendant des décennies. Seule l'approche classique de réalisation de trottoirs, de peindre des lignes jaunes ou de faire des routes en bitume dédiées est la norme depuis toujours.

La récupération d'anciennes voies de chemin de fer ou de métros aériens pour la réalisation de voies vertes est une première innovation.



Figure 7. Voie verte Genève-Annemasse, sur l'ancienne ligne de train. Green high line, New York sur une ancienne ligne de métro aérien.

Heureusement, depuis quelques années, plusieurs projets d'innovation pour développer des voies de mobilité douce commencent à faire parler d'eux. La société suisse Urb-X par exemple, développe des autoroutes à vélos aériennes réalisées avec une structure portante et une bande de roulement en bois. Cette solution vise principalement la construction de voies vélo express en milieu urbain.

On peut également citer la société néerlandaise Plastic Road, qui a développé un des éléments de route cyclable en plastique recyclé afin de remplacer le bitume. Cette innovation gère aussi l'absorption de l'eau en cas de fortes précipitations. En revanche la pose des éléments requiert l'intervention de génie civil comme le dégrappage du sol et sa stabilisation.



Figure 8. Module d'autoroute à vélo de la société Urb-X.



Tronçon de mobilité douce Plastic Road

Objectif du projet

Le but du projet était de développer une nouvelle solution pour construire rapidement des voies de mobilité douce sécurisées, donc séparées du trafic motorisé, tout en maximisant l'utilisation du bois en tant que remplacement du béton et de l'asphalte. Ainsi, les objectifs du projet PAB étaient le design, la réalisation et la pose d'éléments de voies de mobilité douce sécurisées qui répondent aux critères suivants :

- Module en structure bois autoportant sur une longueur minimale de 5 mètres
- Design spécifique permettant de gérer l'évacuation de l'eau de pluie et d'éviter toute stagnation
- Respect des principales normes édictées par VSS, principalement gabarits et garde-corps
- Sélection, application et test de revêtements antiglisse compatibles avec une durée de vie de dix ans
- Construction de plusieurs modules d'un seul tenant incluant la bande roulante et les garde-corps tout en permettant d'être empilés sur un camion et posés d'un bloc
- Pose et fixation de plusieurs modules en pleine terre pour former un exemple de tronçon de voie de mobilité douce

Groupes cibles

La réalisation d'un prototype de la solution Urbanwood a eu pour vocation d'une part de tester le procédé de fabrication en grandeur nature avant une réalisation à grande échelle, et d'autre part d'offrir aux groupes cibles la possibilité de **voir et tester un parcours réalisé avec des modules Urbanwood**. Le besoin des groupes cibles suivant a été identifié lors de démarches auprès d'acteurs romands (Ville de Morges, Commune de Ferreyres, Ville de Vevey, Ville de Lausanne, PALM, Région Nyon, Région Morges, Guichet vélo VD, guichet vélo Fribourg, ATE, mobilitepietonne.ch, divers bureaux d'ingénieurs Vaud et Valais, Entreprises générales)

Les Communes

Les premiers groupes cibles engagés dans la réalisation d'une voie de mobilité douce sont les Communes. Il ressort, des discussions que nous avons engagées avec certaines collectivités publiques, que si les plans d'agglomérations sont réalisés par des groupements de communes (PALM, grand Genève, Nyon région, etc.), la mise en œuvre et le financement de ces plans est l'affaire des communes. C'est d'ailleurs pour cette raison que bien des plans d'agglomération ne voient qu'une toute petite partie de leurs projets se réaliser.

Le financement d'un projet d'investissement part toujours d'une demande de crédit au niveau communal, le pouvoir législatif devant avaliser non seulement les crédits d'infrastructure, mais aussi les crédits d'études. Dans les cas de réalisation impliquant plusieurs communes, même si cela se fait au travers d'une association intercommunale, chaque commune doit prendre des décisions financières pour sa participation selon les statuts de l'association.

Les associations intercommunales

Malgré le fait que les questions de financement reviennent toujours aux communes, les associations intercommunales en lien avec les infrastructures et la mobilité douce ont toutefois un rôle à jouer dans le choix des infrastructures. Selon les cas nous avons identifié les différents niveaux d'intervention des associations intercommunales :

1) Mise en œuvre de dispositifs d'investissement pouvant être sollicités par les communes.

Dans ce cadre, les communes restent maîtresses de leurs projets, mais peuvent solliciter des aides financières pour des investissements ayant un intérêt dépassant le territoire seul de la commune. Dans le cas d'infrastructures de mobilité, il s'agit très souvent de liaisons entre communes, notamment les chemins empruntés par les écoliers ou les travailleurs pendulaires.

2) Génération de projets en lien avec des projets communaux.

Le plus souvent les associations intercommunales sont le lieu de rencontre des représentants des communes, qui échangent sur leurs projets respectifs.

3) Support et conseil pour les communes.

C'est le cas le plus fréquemment rencontré : les communes de taille modeste n'ayant pas l'expertise de domaines tels que les réalisations d'infrastructures, celles-ci peuvent s'adresser aux associations intercommunales dont elles sont membres pour obtenir un support à leur projet.

Il est dès lors intéressant de cibler ces associations intercommunales qui peuvent faire connaître, voire promouvoir la solution Urbanwood pour répondre aux besoins des projets. Les représentants du PALM, de Région Nyon et de l'ARCAM ont tous indiqué que la visite d'une

installation en grandeur réelle était la première étape nécessaire avant toute considération des modules Urbanwood comme solution potentielle. Un élément incontournable est l'aspect écologique des modules, avec le bois suisse comme argument principal pour convaincre des élus de plus en plus sensibles à l'écologie, souvent majoritaires dans les agglomérations urbaines.

Des « guichets vélo » ont été créés récemment dans plusieurs cantons et grandes communes. Nous avons échangé avec les responsables des guichets vélo du Canton de Vaud et du Canton de Fribourg. Ces derniers travaillent avec une multitude d'acteurs politiques, ainsi qu'avec les services d'ingénierie de leur canton et des villes concernées. Ils ont exprimé le besoin impératif de pouvoir montrer à ces acteurs les modèles Urbanwood pour ouvrir des opportunités.

Le responsable du guichet vélo Vaud a notamment précisé que certains projets posent problème au niveau de la configuration du terrain, qu'il s'agisse d'un tracé provisoire (travaux sur routes avec cheminements piétons et cyclistes de contournement) ou définitif.

Les associations

Les associations identifiées ci-dessous sont très actives en termes de communication et d'actions sur le terrain (brochures, campagnes de prévention, programmes de sensibilisation, information au public, présence lors de manifestations, lobbying, etc.) ; il est par contre beaucoup plus difficile pour elles d'agir au niveau des projets d'infrastructures, qui sont décidés, comme indiqué plus haut, par les communes et cantons.

Les infrastructures Urbanwood, en favorisant la mobilité douce et en répondant à de nombreux besoins spécifiques tels que l'amélioration de la sécurité, l'accès aux personnes handicapées, la réduction des accidents, pourront bénéficier du soutien et d'une certaine visibilité au travers de ces associations. Voici la liste, non exhaustive, des associations identifiées comme relais pour la promotion de la solution Urbanwood.

Mobilité cycliste

Nom	Rôle et lien	Publications
Velokonferenz	Organisation nationale des décideurs en matière d'aménagements cyclables. Velokonferenz.ch	
Pro-velo Suisse	Association pour la promotion du vélo en Suisse. https://www.pro-velo.ch	
Genèveroule	Association locale dont les buts, sont, entre autres : <ul style="list-style-type: none"> • Promouvoir l'utilisation du vélo sous toutes ses formes • Favoriser le développement durable, la mobilité douce, la santé et l'écotourisme https://geneveroule.ch/	

<p>Rue-avenir</p>	<p>Experte dans son domaine, cette association fait un travail d'information qui s'adresse particulièrement aux communes, aux services cantonaux, aux bureaux d'études, aux organismes spécialisés mais aussi aux associations et aux groupes d'habitants https://rue-avenir.ch/themes/mobilites-douces/velo/</p>	
<p>Schweizmobil</p>	<p>En 1998, la Fondation « La Suisse à vélo » a élargi ses objectifs en vue de développer des offres durables pour les loisirs et le tourisme pour toutes les formes de mobilité douce : marche, vélo, VTT. https://www.schweizmobil.ch</p>	

Mobilité piétonne

<p>Fussverkehr mobilité piétonne</p>	<p>Mobilité piétonne est une association spécialisée qui défend les intérêts des piétons et participe à l'élaboration d'une politique et d'une planification favorable aux piétons. https://mobilitepietonne.ch</p>	
<p>Suisse Rando</p>	<p>Suisse rando s'engage en faveur de chemins de randonnée attrayants, sûrs et uniformément balisés. Leur travail consiste à planifier et à assurer la qualité de leur infrastructure sur mandat de l'Office fédéral des routes. https://www.schweizer-wanderwege.ch/ https://www.suisse-rando.ch</p>	
<p>Fussveloverkehr</p>	<p>Centre de compétence pour le trafic piétonnier et cycliste. https://www.fussveloverkehr.ch</p>	

Associations et organismes étatiques en lien avec la mobilité

Association / organisation	Rôle dans la mobilité
Mobilservice	Mobilservice est la plateforme de référence pour la mobilité durable et la gestion de la mobilité en Suisse. 11 cantons la soutiennent. Elle est le lien entre communes et entreprises. <i>mobilservice.ch</i>
TCS	Le TCS est actif dans la sécurité routière, avec une importance grandissante sur le thème du vélo <i>www.tcs.ch</i>
Association transports et environnement (ATE / VCS)	L'association transports et environnement œuvre depuis 1979 en faveur d'une mobilité d'avenir <i>www.ate.ch</i> Elle génère des idées novatrices et pertinentes pour l'environnement et la mobilité : <i>www.infrastructurevelo.ch</i>
Bureau de prévention des accidents (bpa)	Actif dans la prévention routière, des piétons et des vélos <i>https://www.bfu.ch/fr/route-et-trafic</i>
actif-traffic	Association active pour une mobilité porteuse d'avenir <i>https://www.actif-traffic.ch/</i>
ASTRA OFROU	L'OFROU a la mission délicate de mettre en place au niveau fédéral les conditions les plus avantageuses possibles pour promouvoir et renforcer la Mobilité Douce <i>www.astra.admin.ch</i>
Guichets cantonaux pour la mobilité	Exemple de guichet cantonal pour la mobilité: <i>https://www.sg.ch/bauen/tiefbau/fuss--und-veloverkehr.html</i> <i>www.basel-unterwegs.ch/</i>
Büro für Mobilität	Ce bureau développe des solutions sur mesure, donne des impulsions créatives et s'engage pour une mobilité durable <i>https://www.bfmag.ch</i>
Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)	La VSS promeut des transports durables et sûrs. Elle accorde beaucoup d'importance à des infrastructures qui répondent de manière optimale aux besoins de la société du point de vue technique, économique et écologique ainsi qu'au plan de la sécurité et de l'adaptation aux besoins des personnes handicapées <i>www.vss.ch</i>
Les Verts Die Grüne	Le parti politique suisse soutenant la mobilité douce, y.c. les projets d'infrastructures écologiques. <i>https://gruene.ch/umwelt/verkehr/verkehr</i>

Exemple de retour reçu sur le concept de module de mobilité douce Urbanwood.

La responsable de l'ATE Fribourg nous a indiqué qu'un des combats de l'ATE porte sur le respect des largeurs minimales des voies de mobilité douce. Pour favoriser l'adoption des infrastructures, il est nécessaire d'offrir un confort suffisant. Les nouvelles infrastructures doivent toujours être dimensionnées en fonction du flux attendu, d'où la nécessité de procéder à des études et planifications des nouveaux flux engendrés par celles-ci ; sans cela, le risque est qu'elles ne trouvent pas preneur car inadaptées aux attentes.

Mme Vythelingum, de par son expérience dans la mobilité douce, a constaté que trop souvent, les projets d'aménagement traditionnels (route, ponts, etc.) suivent un parcours procédural tellement long – souvent 5, 10 ou 15 ans - que quand ils sont enfin réalisés sur la base des plans initiaux du projet, ils ne répondent plus aux nouveaux besoins du moment. Le fait que la solution Urbanwood permette de mettre rapidement à l'essai des voies de mobilité douce et que celles-ci soient ajustables en fonction de l'évolution des besoins, est un argument fort pour l'ATE.

Autres associations avec des besoins spécifiques

Société Suisse des Paraplégiques	Auteurs du manuel «Construire sans obstacles» https://www.spv.ch
Clubs « en fauteuil roulant »	Clubs locaux « en fauteuil roulant » Ex : canton de Genève : https://cfrge.ch
Proinfirmiss	Association de défense des constructions sans obstacles https://www.proinfirmiss.ch/fr/prestations/neuchatel/conseil-en-construction-sans-obstacles.html
Procap	Procap Construction s'engage pour l'accessibilité des bâtiments, des infrastructures extérieures et des stations de transports en commun. https://www.procap.ch/fr/prestations/conseil-et-information/construction-et-transports.html
Mobilité-santé	« Mobilité active & santé » intervient dans des conférences d'associations professionnelles ou d'administrations mobilite-sante.ch

Bureaux d'ingénieurs

Les bureaux d'ingénieurs sont en général mandatés par les communes, ou par d'autres bureaux d'ingénieurs, pour tout ou partie d'un projet d'infrastructure : étude préalable, plan d'aménagement, réalisation, etc.

Chaque bureau d'ingénieur peut être impliqué, directement ou indirectement, dans la planification ou la réalisation d'infrastructures de mobilité douce. Certains bureaux sont spécialisés dans la mobilité douce, avec un intérêt potentiel important pour les modules Urbanwood.

Les résultats et leçons apprises de ce projet seront de premier intérêt pour ces bureaux spécialisés.

Méthode

Définition des besoins

Pour passer de l'idée des modules Urbanwood aux spécifications, nous avons utilisé les conclusions des trois études initiales réalisées avant ce projet. Nous avons confronté notre idée à trois acteurs publics, ayant chacun un besoin lié à de l'infrastructure de mobilité douce :

- 1) Un parcours de liaison urbain en ville de Morges (VD)
- 2) Un cheminement piéton en bordure de route cantonale à Ferreyres (VD)
- 3) Un parcours de mobilité douce le long des voies CFF, de la gare de Fribourg au site BlueFactory (FR)

Ville de Morges

Contexte

Le site de Beausobre draine de nombreux écoliers venant de Morges et sa périphérie. Un certain nombre utilise le bus 701. Pour gagner en temps, les usagers sortent à l'arrêt Blancherie (A) pour couper et éviter le changement de bus. Ils utilisent l'itinéraire en rouge sur le plan.

La ville de Morges souhaite valoriser cet itinéraire de mobilité douce au travers d'un aménagement qui permettra de le rendre plus accessible. En effet, ce parcours se trouve sur le domaine public, à l'exception du premier tronçon. Faute d'aménagements les écoliers, ainsi que les autres personnes se déplaçant à pied dans le quartier, coupent par une zone privée non-aménagée (surlignée en jaune sur le plan).

Besoin

Le besoin de la ville de Morges se traduit de la manière suivante

- Tester le **tracé** avec un aménagement attractif pour les usagers
- Offrir au propriétaire de la parcelle privée **un aménagement provisoire** pouvant être démonté **sans aucun impact sur son terrain**
- Implanter une **solution rapide**
- Démontrer les avantages du tracé **sans les démarches et frais administratifs d'étude**, procédures d'enquête, demandes de crédit à la commune



Figure 9. Chemin emprunté par les élèves du gymnase de Beausobre B depuis les arrêts de bus A et A'.

Solution

La première étude Urbanwood a débouché sur cette proposition de parcours afin de répondre à cette problématique avec une proposition d'aménagement, en bois, attractive, éco-responsable, qui dynamisera la mobilité douce sur cet axe.

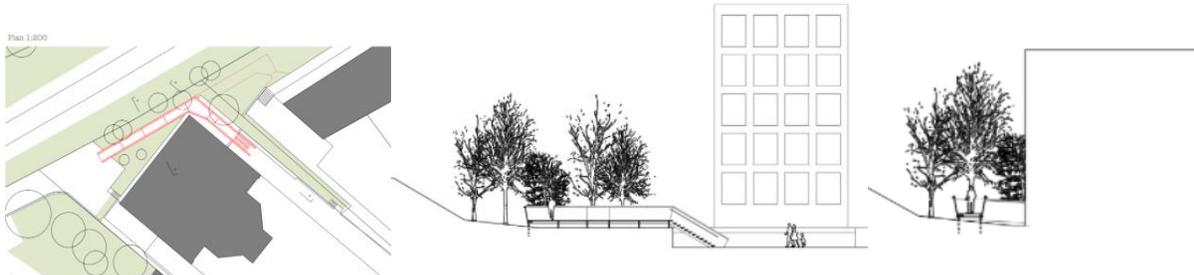


Figure 10. Solution proposée par Urbanwood pour « officialiser » et sécuriser le passage sans impact permanent.

Village de Ferreyres

Contexte

Le village de Ferreyres se situe à 2,5 km de La Sarraz, dans le canton de Vaud. Les piétons et cyclistes qui souhaitent se rendre à la Sarraz n'ont d'autre choix que de longer la route cantonale sur les premiers 350m, sans trottoir ni bande de terrain praticable pour les piétons, le bord de route étant en pente. De fait, les piétons marchent directement sur le bitume, avec une situation dangereuse.

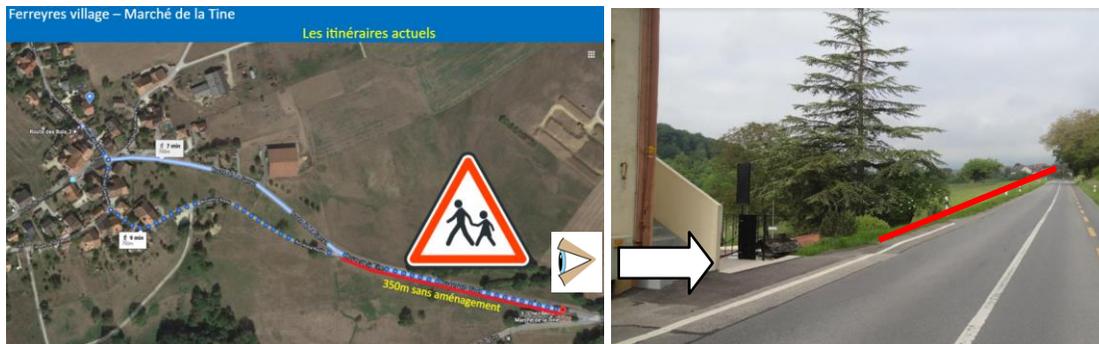


Figure 11. Chemin emprunté le long de la route cantonale pour se rendre au café de la Tine en direction de la Sarraz.

Besoins

Les initiateurs du projet souhaitent :

- Offrir aux usagers **un aménagement sécurisé** sur le tronçon en question
- Eviter d'**engager des travaux de génie civil lourds** (terrassements, nivellement du terrain adjacent à la route)
- Proposer au propriétaire de la parcelle adjacente à la route **un aménagement** pouvant être démonté **sans aucun impact sur son terrain**

Solution possible, répondant aux besoins spécifiques :



Figure 12. Proposition amenée par Urbanwood pour offrir un chemin sécurisé le long de la route cantonale.

BlueFactory, Fribourg

Contexte

Le site de BlueFactory accueille plus de 340 personnes sur quatre plateformes technologiques: un centre de recherche dans le domaine de l'habitat du futur, un centre de compétences dans la santé humaine, un autre dans la production modulaire en biopharma, et une plateforme regroupant plasturgie et systèmes embarqués et sécurisés. Le site compte en outre une trentaine de PME et start-ups innovantes, actives dans des secteurs tels que les énergies propres, les nouveaux matériaux, le recyclage ou les technologies numériques.

Depuis la gare, les usagers du site doivent actuellement suivre un parcours peu accueillant (en rouge sur le plan), avec une traversée de carrefour sans visibilité et très dangereux.

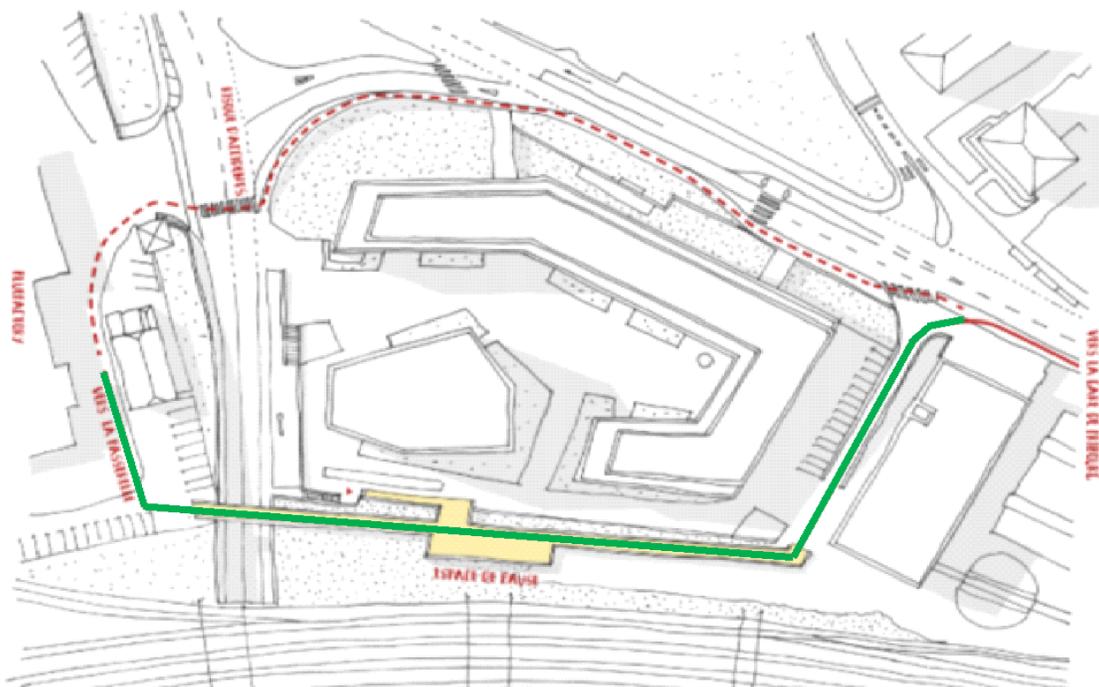


Figure 13. Voie verte avec passerelle par-dessus le passage du Cardinal pour sécuriser l'accès à BlueFactory.

Besoin

Le besoin de BlueFactory se traduit de la manière suivante

- **Tracé provisoire** (ligne verte sur le plan), les travaux des CFF allant impacter le tracé à plus long terme
- **Tester le parcours vert**, ce qui permettra de valider l'adoption des usagers avant un projet définitif
- Offrir au propriétaire de la parcelle (CFF) **un aménagement provisoire** pouvant être démonté en tout temps **sans aucun impact sur son terrain**
- Démontrer les avantages du tracé à la Ville de Fribourg, **sans les démarches administratives** d'études, de mise à l'enquête, et des demandes de crédit pour un ouvrage d'art prévu dans plus de 5 ans.

L'étude du tracé a permis de soulever 2 besoins

- 1) Traversée de la chaussée (pont)
- 2) Continuité du parcours après le pont, sur un terrain irrégulier en bordure de propriété privée.

Solution envisagée

Une solution permettant à la fois une traversée en hauteur et une continuité de parcours a suscité l'intérêt de la Ville de Fribourg. Les CFF, propriétaires de la parcelle sur laquelle passerait ce chemin, ont besoin de pouvoir déplacer le parcours en fonction de l'avancement des travaux sur les lignes CFF à proximité, le lieu servant d'entrepôt pour véhicules et matériel.



Coupes cotées avec emprise

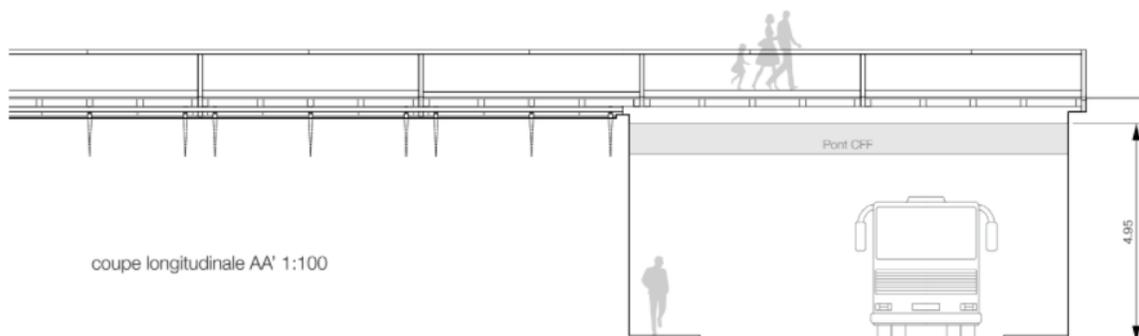
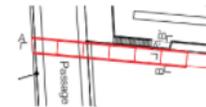
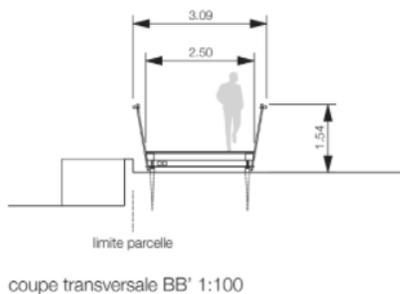


Figure 14. Projet de passerelle sur le passage du Cardinal et chemin piéton le long du terrain vague des CFF.

Consolidation des besoins

Sur la base de ces trois projets d'aménagements, Urbanwood a pu définir les lignes directrices de sa stratégie produit, alliant les avantages suivants :

- Aménagement sécurisé pour piétons et vélos
- Solution rapidement mise en œuvre
- Possibilité de **démonter**, déplacer, **réutiliser** l'infrastructure **sans impact sur le terrain**
- Possibilité de **tester un parcours et son utilisation (comptage)** avant une réalisation plus conséquente
- Éviter des travaux de génie civil lourds
- Éviter des démarches administratives lourdes

Design du module Urbanwood

Le point de départ est l'utilisation du bois pour la construction de modules de voie de mobilité douce, standardisés, autoporteurs et ayant un minimum d'impact au sol. Ce choix a nécessité une réflexion sur l'optimisation de la durée de vie du bois directement exposé aux intempéries et sur la statique du système. En outre, le concept de construction a pour objectif d'être le plus simple possible et composé d'éléments bois facilement remplaçables en cas de détérioration.

Pour la statique, nous avons comparé les divers avantages et inconvénients d'avoir la structure primaire (la bande de roulement) ou la structure secondaire (garde-corps) comme élément porteur. Finalement, les 1.30m de garde-corps imposés par la norme SN 640 247 mettent à disposition une hauteur statique ce qui rend l'utilisation de la structure primaire comme élément porteur superflue. Chaque variante a été discutée et calculée avec l'ingénieur civil et a permis une grande simplification du système.

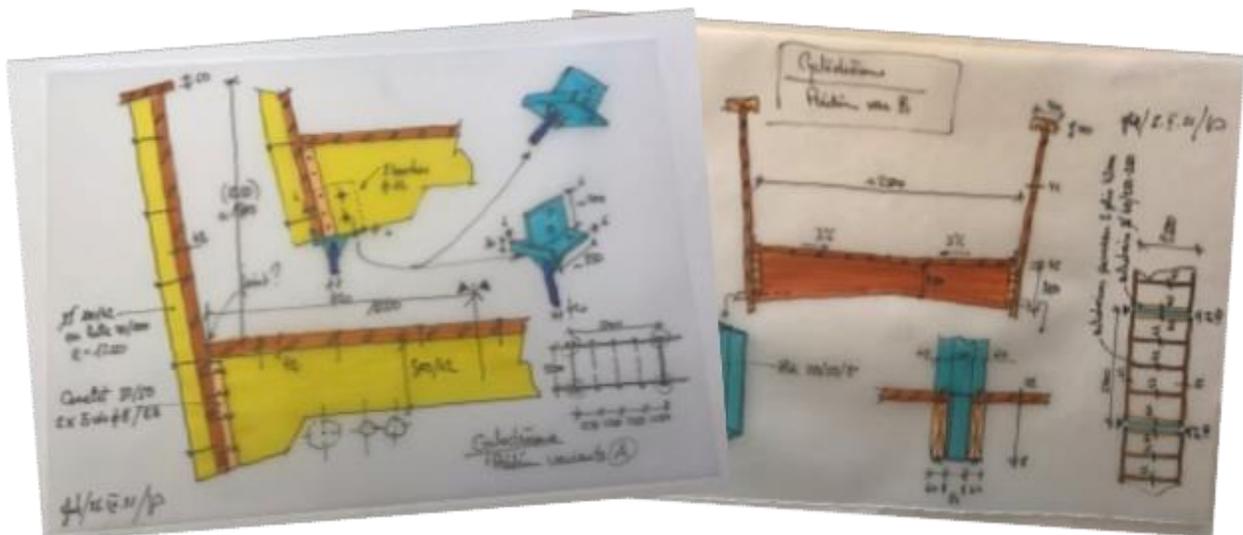


Figure 15. Exemple des variantes de solutions statiques discutées avec l'ingénieur civil.

Le panneau tri-plis en épicéa nous a semblé idéal pour allier la garantie d'une fourniture de matière première suisse tout en atteignant les valeurs statiques nécessaires pour la structure autoportante. L'élément de main-courante étant également un élément statique, sa grosse section ne permet pas l'utilisation d'un bois massif qui travaillerait trop avec le temps. Nous avons donc opté pour un bois collé également issu de la filière suisse.

Il a fallu ensuite énumérer, si possible de manière exhaustive, les contraintes liées à la conception technique, à la production semi-industrialisée, à l'environnement de l'implantation et à l'utilisation principale. Cette démarche a permis l'élaboration des systèmes de raccords et d'appuis entre les modules, tout en optimisant le processus d'exécution.

Une fois le concept technique du module autoportant établi, l'identification des zones de faiblesses, liées à l'exposition aux intempéries, a découlé sur l'établissement de trois principes fondamentaux de durabilité :

1. La garantie de ventilation de toutes les parties en bois exposées
2. La maîtrise de la canalisation de l'eau de manière à éviter toute stagnation
3. L'étanchéification des zones où la ventilation naturelle n'est pas suffisante

Toutes les passerelles en bois visitées en amont ou dans le cadre du projet présentaient la même problématique du manque d'adhérence de la voie circulaire en cas d'humidité. Les solutions proposées sur ces diverses réalisations ne semblant que rarement convaincantes, nous avons opté pour un revêtement étanche et antiglisse complet du panneau de fond. En corollaire, une éventuelle infiltration d'eau sous cette protection serait fatale pour la longévité du panneau, l'humidité ne pouvant plus s'évaporer. Un soin particulier des raccords des éléments en contact avec ce panneau s'avère donc indispensable.

En ce qui concerne la liaison au sol, la volonté de ne pas utiliser de socle en béton, de minimiser l'impact au sol et de permettre une pose rapide nous a orienté vers un système de vis de fondations ; les avantages de ce système sont multiples :

- Temps d'exécution / coût
- Écologie
- Longévité
- Réutilisation
- Impact minimal sur le terrain : évite l'excavation, l'imperméabilisation des sols, le compactage des sols, les atteintes aux racines
- Approprié pour toutes les classes de sols

Systeme de fondations

Si les vis de fondations sont appropriées pour toute classe de sol, les spécialistes de la pose nous ont rendus attentifs au fait que la préparation est primordiale pour n'importe quel projet. Le choix du type de vis et du mode de pose se fait à la lumière des informations disponibles sur la classe du sol : rocheux, graveleux, argileux, sable, tourbe, etc.

Un tableau de pré-dimensionnement est utilisé, et en cas de doute, une analyse du sol existant, par sondage peut s'avérer nécessaire

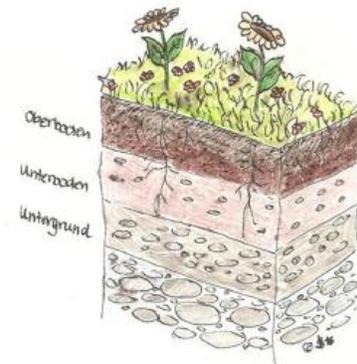


Figure 16. Schématique générique des sols adéquats pour l'utilisation des vis de fondation.

Pour une installation précise, le processus le plus efficace est le suivant

1. Traçage
2. Pré-perçement (x/y: +/- 25mm, z: +/- 2mm)
3. Implantation au moyen d'une visseuse électrique

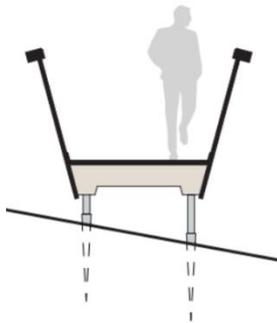
Pour les cas où la statique est primordiale, l'utilisation d'outils connectés permet de vérifier le couple de serrage et un relevé sous forme de fichier à vérifier par l'ingénieur en charge.

Le processus le plus élaboré pour la pose de vis de fondations consiste en 4 étapes :

1. Essais de vissage (incl. Documentation moment de torsion)
2. Sélection des fondations à tester (moment de torsion faible / charges)
3. Essais de charge (incl. documentation de pression, déplacement et temps)
4. Évaluations des essais (avec rapport)

Sol en pente

Un des principaux atouts des modules Urbanwood est sa facilité d'implantation sur des terrains en pente ; en jouant sur la longueur des vis (jusqu'à 3.00 m) et sur la profondeur d'insertion, il est possible de compenser le dénivelé du terrain.



Toutefois, la profondeur d'insertion des vis devrait être utilisée de manière limitée pour compenser le dénivelé, jusqu'à 20 à 30 cm selon les meilleures pratiques. Au-delà, il devient nécessaire de contreventer la partie de la vis hors sol ou construire une superstructure en bois ou en métal pour compenser la différence de niveaux.



N'étant pas certains du degré de précision de ce type de fondations, nous avons rajouté la possibilité d'intercaler entre la fondation et la zone d'appui de la structure un support de réglage. Afin de rationaliser les coûts, un modèle courant a été utilisé et a permis de constater une très grande facilité d'adaptation sur la tête de la vis de fondation. Ceci permet d'éliminer le modèle proposé initialement, au coût significatif.

Traçage et implantation

Le terrain mis à disposition pour l'implantation du tronçon test présente un dénivelé linéaire d'environ 10% et une pente latérale de 15%. Malgré les conditions neigeuses lors de cette étape, le traçage et la mise en place des vis de fondation ont été aisés. Le gel ne présentant aucun problème pour le vissage, ces travaux peuvent être exécutés à tout temps.

Comme prévu dans les phases d'étude, il s'avère que si les relevés et le traçage sont exécutés méticuleusement, la mise en place des éléments est d'une très grande rapidité (20m /heure/2 personnes).

Sur les 16 fondations, seule une était décalée. La facilité de résolution du problème démontre la très grande flexibilité des zones d'appui.

Le réglage millimétrique de l'altitude de la vis de fondation nous a convaincu de l'inutilité des pieds de réglage, sauf lors de conditions bien spécifiques.

Choix du modèle de vis

Nous avons évalué les meilleures solutions pour notre projet, grâce à l'expertise du fournisseur et des essais faits par nos propres soins. De la gamme proposée, deux solutions sont ressorties :

- 1) Les modèles de vis à tête en U, avec fixation latérale, permettent une liaison très rapide de la structure. La contrepartie étant une relativement faible marge de manœuvre dans les ajustements de la structure.
- 2) Les modèles à tête plate hexagonale, qui permettent de garder une très grande liberté d'ajustement. Cet avantage apparaît comme prépondérant, dans la mesure où ce projet s'adresse spécifiquement à des configurations de terrain complexes.

Le choix du modèle de vis s'est fait sur la base de l'étude de la charge des modules à vide, et des charges qui seront supportées par la structure

Poids du module

Descriptif	Unité	Qté	Poids/ unité	Poids par modul-e 5m (KG)	Poids pour 5 éléments (T)
Panneau triplis	m3	1.125	424	477.0	2.4
Sous-construction	m3	0.176	424	74.6	0.4
Main courante bois	m3	0.294	424	124.7	0.6
Liaison modules, acier inox	Pièce	1	78	78.0	0.4
Vis de fondation	Pièce	4	5.3	21.2	0.1
Plinthes	Pièce	2	8.5	17.0	0.1
Autres (vis, bandes isolation, etc.)				7.5	0.0
TOTAL sans revêtement				800.0	4.0
Couche primaire, enduit d'imprégnation	m2	8	0.5	4.0	0.0
Obturations nœuds du bois	m2	8	0.25	2.0	0.0
Couche d'étanchéité + voile	m2	8	2.8	22.4	0.1
Couche de protection de l'étanchéité	m2	8	2.8	22.4	0.1
Couche de finition	m2	8	2.8	22.4	0.1
TOTAL du module à vide				873.2	4.4

Charge maximale piétons	m2	2	80.0	640.0	
Charge balayeuse / chasse-neige		1	3'500.0	3'500.0	
Total avec charge maximale				4'373.2	

Sur la base de ce calcul, le meilleur choix est de supporter chaque module avec 4 vis ayant chacune une capacité de charge de 16.5kN. Ce qui permet une charge utile de 6700 kg par module. Outre les 4 zones d'appui de base, l'élément dispose 6 autres points d'appuis potentiels permettant de raccourcir la longueur des vis en multipliant les appuis. Un avantage non négligeable dans des environnements où les services souterrains ne sont pas cadastrés.

L'option de poser les fondations à la jonction des modules a été envisagée, mais le surcoût lié à la longueur des vis nécessaires ne compensait l'économie de 2 fondations.

Comptage

Lors des discussions avec les maîtres d'ouvrages des projets initiés, la question de la densité du trafic a toujours été évoquée comme un élément clé, aussi bien pour la justification de l'investissement que pour le choix d'une solution adaptée.

C'est pourquoi nous avons opté pour l'intégration d'un système de comptage à l'entrée /sortie de chaque tronçon de voie de mobilité douce. Cela permet aux maîtres d'ouvrage de monitorer l'utilisation de l'infrastructure une fois posée.

Parmi les multiples systèmes proposés sur le marché, nous avons choisi le système pouvant s'intégrer le plus facilement et discrètement sur les modules Urbanwood, et avec le meilleur rapport qualité-prix. Il s'agit d'un système à infra-rouge conçu et assemblé en Europe (France), avec des échos positifs des villes de Lausanne et de Pully, qui l'utilisent depuis plusieurs années.



Figure 17. Exemple des systèmes de comptage pour piétons ou cyclistes.



Dimensions: 18mm x 40mm x 90mm

Temperature Resistance: -40°C to +40°C

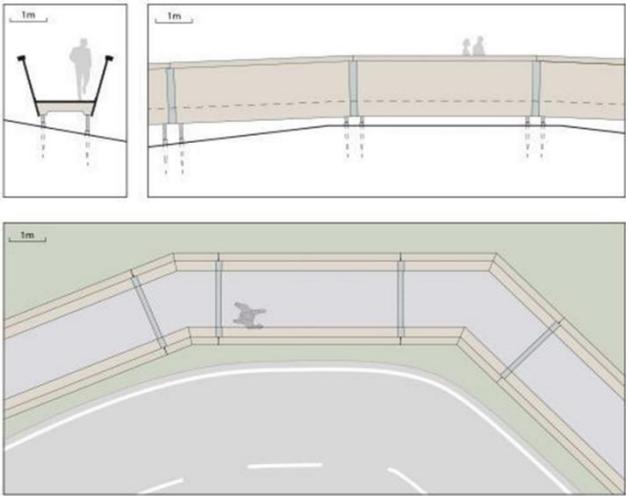
Waterproof: IP 68

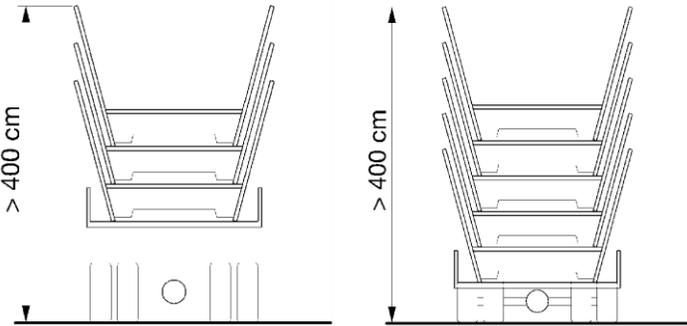
Material: Cells material: High-density Polyethylene (HDPE) / Sensor body material: Polyvinyl chloride

Range: Up to 15m

Déroulement / Descriptif du projet

Le projet s'est déroulé du 2 août au 21 décembre 2021, ce qui correspond à 21 semaines

Semaine	Activités
1-3	<p>Initiation du projet, planification Esquisses des premières versions de module Construction d'une maquette 1:10</p> 
4-7	<p>Dessins techniques de la maquette 1:10 Esquisses de variantes</p> <ul style="list-style-type: none"> - largeurs type 1.6m, 3.2m, 4.8m - modules spéciaux : virages, pentes - garde-corps inclinés 
8-10	<p>Exécution des premiers prototypes avec garde-corps inclinés à 15%</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intégration d'un caisson de support pour maintenir les garde-corps - Dimensionnement des traverses pour production en série - Validation des assemblages

	
<p>10-11</p>	<p>Sélection des revêtements pour la réalisation du prototype II, premiers essais sur échantillons et choix des produits avec le fournisseur</p> <p>Calculs des capacités pour le transport</p> 
<p>12-14</p>	<p>Construction des traverses Construction des plateaux avec traverses pour le prototype</p> 
<p>15-16</p>	<p>Pose des couches d'étanchéité</p> <ul style="list-style-type: none"> - Primaire d'adhérence pour support métallique - Enduit d'imprégnation - Enduit spatulable - Résine d'étanchéité - Mortier auto-lissant comme couche de protection

	
<p>16-18</p>	<p>Pose des couches de revêtement antiglisse</p>  <p>Revêtement d'usure pour toutes surfaces fortement sollicitées</p>  <p>Revêtement structuré Enduit spatulable sablé Couche de finition</p>
<p>17</p>	<p>Intégration des structures métalliques de connexion</p> 

	 <p data-bbox="878 380 1365 449">Assemblage des garde-corps sur les 3 plateaux finalisés avec revêtement</p>
<p data-bbox="196 617 233 646">17</p>	<p data-bbox="339 617 1398 686">Planification de l'installation du parcours avec les fournisseurs de vis de fondation et le transporteur</p>
<p data-bbox="196 711 233 741">19</p>	<p data-bbox="339 711 1166 741">Installation des vis de fondation sur le terrain de démonstration</p> 
<p data-bbox="196 1115 233 1144">20</p>	<p data-bbox="339 1115 786 1144">Transport et dépose de 3 modules</p> 

	
<p>20</p>	<p>Finitions sur site :</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div data-bbox="354 879 862 1281">  <p style="text-align: center;">Éclairage</p> </div> <div data-bbox="938 879 1349 1274">  <p style="text-align: center;">Tests revêtements antiglisse in situ</p> </div> </div>
<p>20-21</p>	<p>Finalisation des rapports et travaux administratifs pour la clôture du projet</p>

Résultats

4.1 Prototypes fonctionnels grandeur nature de plusieurs modules assemblés, pose en situation réelle.



Le temps investi en étude et identification des points potentiellement problématiques a permis une réalisation quasi optimale du second prototype. La simplicité du design a fait que l'assemblage n'a pas posé de problème particulier, malgré le poids conséquent. En effet, ces éléments de 5m de long et 800 kg demandent une optimisation des étapes d'assemblage. La réalisation de la couche antiglisse sur le panneau de fond avant l'assemblage des garde-corps permet d'utiliser tout l'espace pour l'application homogène des produits.

Même aisée, la construction artisanale de 5 modules prototypes a montré la nécessité de faire appel à une infrastructure industrielle lors d'une production à plus large échelle.

La statique recherchée est donnée largement par les garde-corps. Le module est clairement autoportant et se transporte aisément d'un seul bloc. Grâce à son design en V, les modules peuvent facilement s'empiler dans une zone de stockage et également lors du transport.

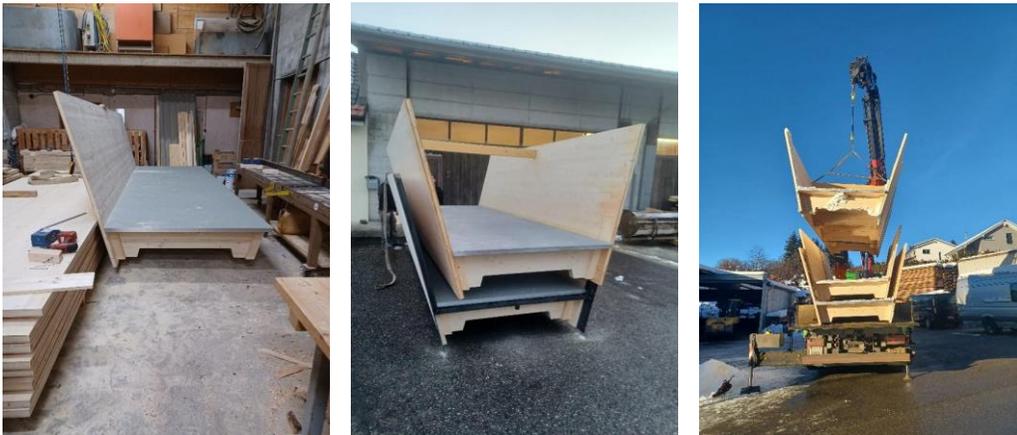


Figure 18. Confirmation des capacités d'empilement des modules.

Lors de l'implantation in situ effectuée sur plusieurs types de terrains (marne, remblais, terre empierrée), nous avons constaté que dans chaque cas de figure le couple de serrage nécessaire a été atteint, tout en maintenant un très haut niveau de précision sur les 3 axes.

Pour assurer cette précision, le plus grand défi consiste à reporter le plan horizontal des modules sur un terrain inégal. Le pré-perçement des emplacements de fondation a permis une grande précision de pose, tout en indiquant par sondage la consistance du terrain.



Figure 19. Pose des vis de fondation sur terrain brut.

Une fois la technique de percement et de vissage des pieux maîtrisée, la pose et la fixation des modules a été réalisée sans encombre en un temps très court. Cette expérience a montré que sur un terrain irrégulier il est possible de poser au moins 20m de voie par heure.



Figure 20. Pose des modules sur les vis de fondation.

Enfin, l'ajout de la main-courante a bien joué son rôle de rigidification pour éviter le flambage des garde-corps. Cette dernière a été utilisée pour y insérer un dispositif d'éclairage parfaitement intégré, offrant une très bonne visibilité de la piste sans engendrer de nuisance lumineuse à l'extérieur du module.



Figure 21. Prototype de tronçon de voie de mobilité douce.

4.2 Validation du respect des normes VSS

Lors des discussions avec l'OFROU, il est ressorti que cet office fédéral ne certifie pas les aménagements : ce sont les réglementations des cantons qui font foi. Toute construction de voies de mobilité se doit de respecter les normes VSS qui s'appliquent.

En ce qui concerne ce tronçon prototype de voie de mobilité douce, il a été défini pour réaliser des voies piétonnes et/ou cyclistes unidirectionnelles, par exemple le long des routes cantonales à fort trafic. En corollaire, les normes VSS suivantes ont été prises en considération :

- SN 640 201; 2017. Profil géométrique type; dimensions de base et gabarit d'espace libre.
- SN 640 247; 2010. Traversées à l'usage des piétons et des deux-roues légers; passages supérieurs.
- SN 640 568; 2013. Sécurité passive dans l'espace routier; garde-corps.

Ainsi, les modules Urbanwood qui seront systématiquement posés au minimum à 50cm de la chaussée, ont été définis avec une bande de roulement minimum de 1.60m de large pour la variante cyclable unidirectionnelle, 3.20m de large pour la variante cyclable bidirectionnelle et 4.80m pour la variante cyclable bidirectionnelle avec accès piétons.

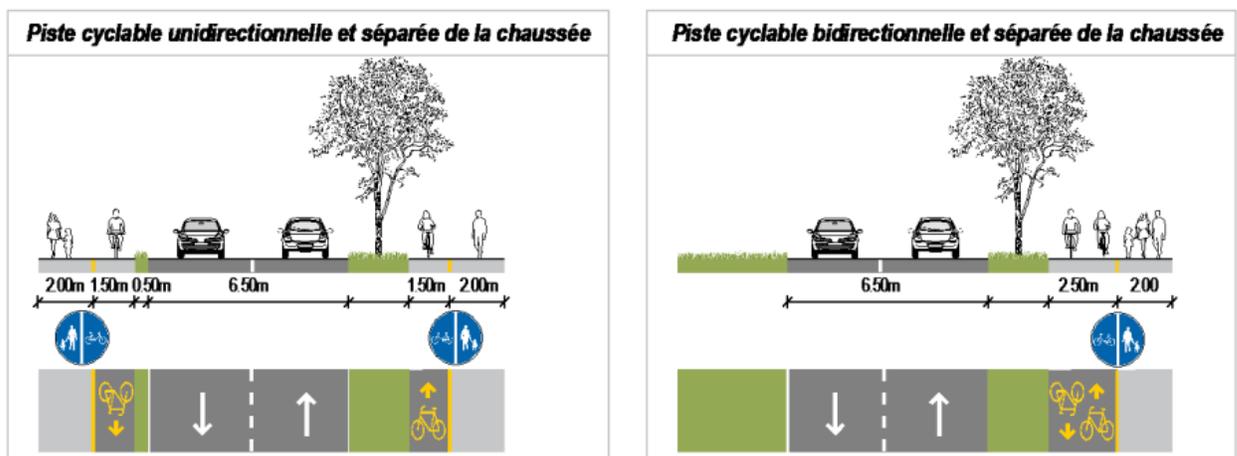


Figure 22. Dimensions de base et gabarit d'espace libre recommandés par la norme VSS.



En ce qui concerne le garde-corps, si la hauteur de chute est supérieure à 1m sur le tronçon, alors celui-ci doit être au minimum de 1.30m. Grâce à la géométrie en V des garde-corps du module Urbanwood, on constate qu'un vélo a toute la latitude pour circuler. En effet, même avec une bande de roulement de seulement 1.60m, l'écartement du haut des garde-corps donne toute la largeur nécessaire au guidon du vélo quand celui-ci se rapproche du bord de la bande de roulement.

4.3 Plans et processus de fabrication et estimation des coûts par mètre linéaire

Après la prise en compte des normes VSS et la réalisation des premiers essais de prototypes, nous avons pu effectuer les dessins techniques définitifs. Les dessins 2D et l'axonométrie de l'ensemble du module sont représentés ci-dessous.

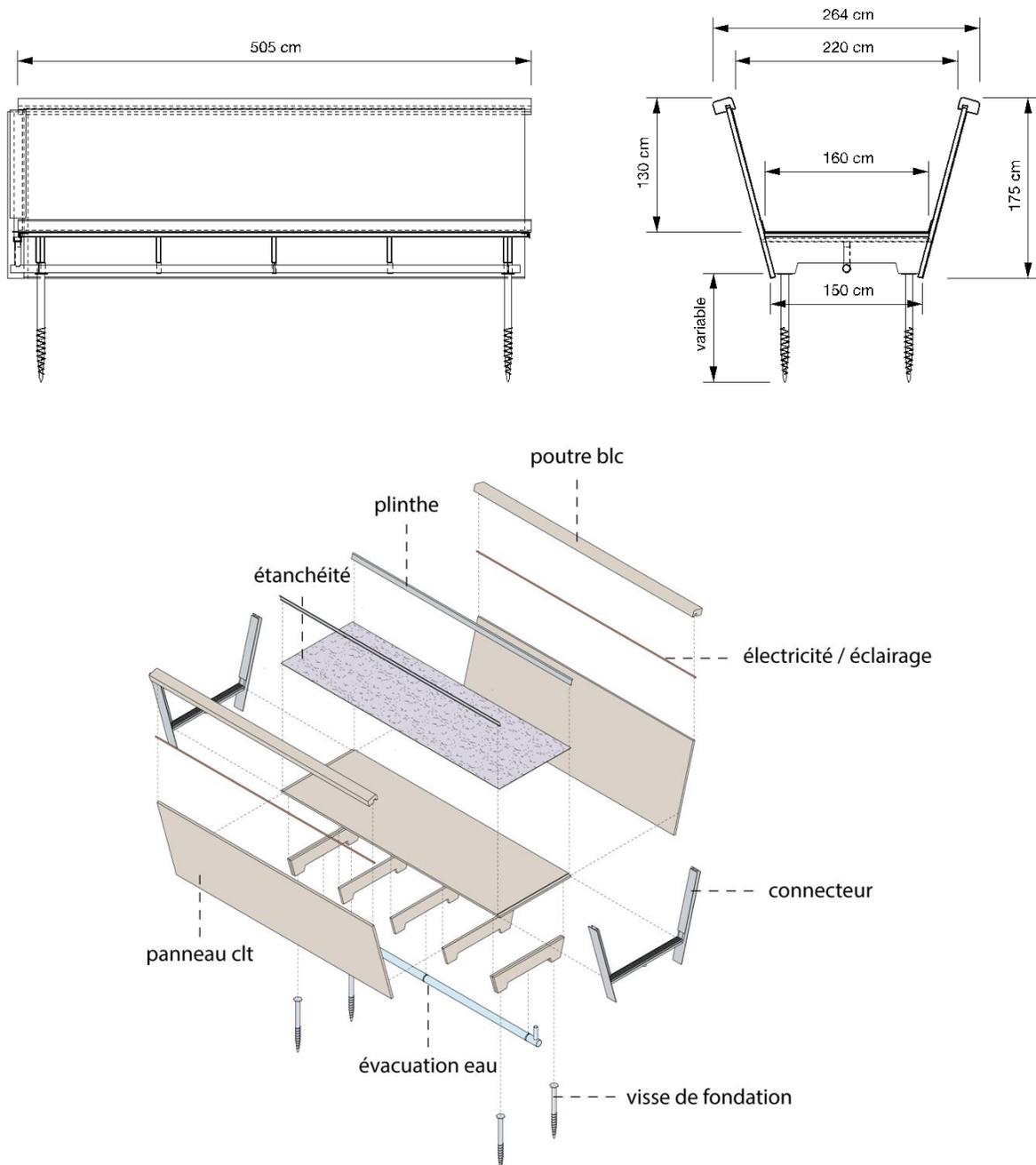


Figure 23. Dessins 2D et axonométrie éclatée du module Urbanwood.

En vue d'une industrialisation de la fabrication, tout le processus de fabrication a été analysé et détaillé, comme le résume le schéma ci-dessous.

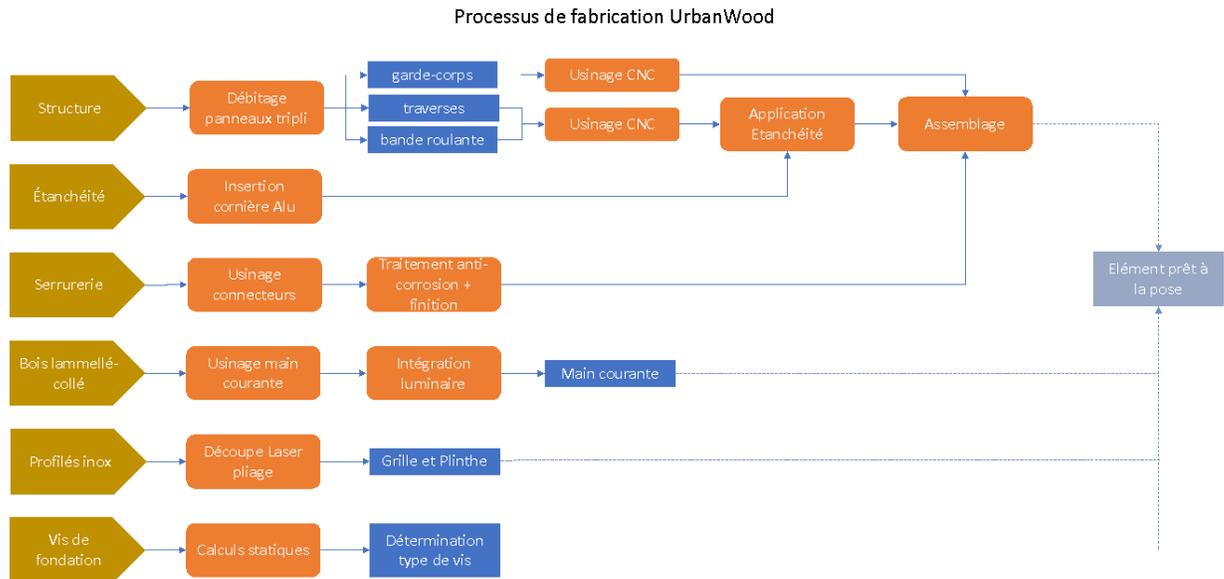


Figure 24. Schéma du processus de fabrication.

L'étude détaillée du processus de fabrication a également permis de calculer les coûts réels projetés à un niveau industriel. Ceci a rendu possible une estimation du coût par mètre linéaire du module Urbanwood. Le tableau ci-dessous détaille les coûts de chaque étape de production.

Chiffrage						
Temps projetés pour la production semi-industrielle d'un élément de 5m x 1m80						
Étapes de construction	Manutention fournitures	Usinage	Assemblage	Manutention produit fini	Total	Fournitures
Livraisons fournitures globales	0.5				0.5	
Bande de roulement	0.5	0.5	1	0.25	2.25	564
Étanchéité	0.5	2		0.25	2.75	954
Garde-corps	1	1	2	0.5	4.5	1128
Traverses	0.25	0.05	0.5	0.25	1.05	411
Main-courantes	0.25	1.2	0.5	0.25	2.2	240
Connecteurs			1	0.25	1.25	718
Pose pieux	0.25				0.25	600
Mise en place passerelles sans chargement et transport	1.5				1.5	110
Manutention et stockage				1	1	
Cout total posé sans transport					1466.25	4725
Total HT						6191
Coût au mètre linéaire						1238
Coût au m2						688

4.4 Bilan carbone et stratégie de recyclage

L'analyse approfondie du processus de fabrication a aussi été le point de départ pour réaliser un bilan carbone le plus précis possible et également pour définir la stratégie de recyclage en fin de vie du produit. La société Eqllosion, basée à l'EPFL et spécialisée dans les analyses de cycle de vie des produits, a été mandatée pour une étude standardisée sur le bilan carbone.

Le premier objectif de cette étude est d'effectuer le bilan carbone d'un module préfabriqué de voies de mobilité douce en bois destiné à des utilisateurs de type piéton-vélo (« passerelles en bois pour mobilité douce »). Le deuxième objectif est de le comparer avec un produit de type voie piétonne/cyclable en bitume.

Le champ de l'étude du produit « passerelle en bois » comprend l'analyse du berceau au tombeau. C'est-à-dire de l'extraction des matières premières nécessaires à la fabrication jusqu'à la fin de vie de celui-ci (recyclage, élimination, valorisation). L'ensemble des étapes du berceau au tombeau constitue le système produit (l'ensemble des flux qui sont nécessaires à la représentation d'un modèle de cycle de vie d'un produit).

Le bilan carbone repose sur une unité fonctionnelle (UF) destinée à être utilisée comme unité de référence dans l'analyse. Elle témoigne de l'utilité du produit ou du service. Pour le produit « passerelle en bois », la fonction est d'assurer le passage de piéton et de vélo. L'unité fonctionnelle choisie est d'assurer le passage de piéton-vélo sur 100 mètres sur 1m60 pendant 20 ans en Suisse.

L'étude comprend les consommations d'énergies et les émissions lors de l'extraction, la production, le transport, l'utilisation et la fin de vie des matières nécessaires au système produit. Les flux de référence désignent la quantité du produit analysé et l'ensemble des consommables utilisés par ce produit et nécessaires pour couvrir les besoins de l'unité fonctionnelle (consommation de matières et d'énergie). Le schéma des flux de référence ci-dessous décrit ce que l'étude prend en compte (flux de références orange) dans ce bilan carbone.

L'étude prend en compte :

- L'extraction, la fabrication des matières premières (coupe de bois, extraction et fabrication des métaux, fabrication des revêtements et bande d'étanchéité)
- Le transport de la matière première entre l'usine de production et le lieu d'assemblage
- Le transport de l'assemblage au lieu d'utilisation
- Le transport du lieu d'utilisation aux points d'élimination en fin de vie
- La fin de vie du produit (réutilisation, incinération, recyclage)

L'étude ne prend pas en compte :

- L'infrastructure et la consommation d'énergie pour l'assemblage et l'entretien de la passerelle en bois (bâtiments, machines, outils, électricité).
- L'énergie pour la phase d'utilisation (éclairage)

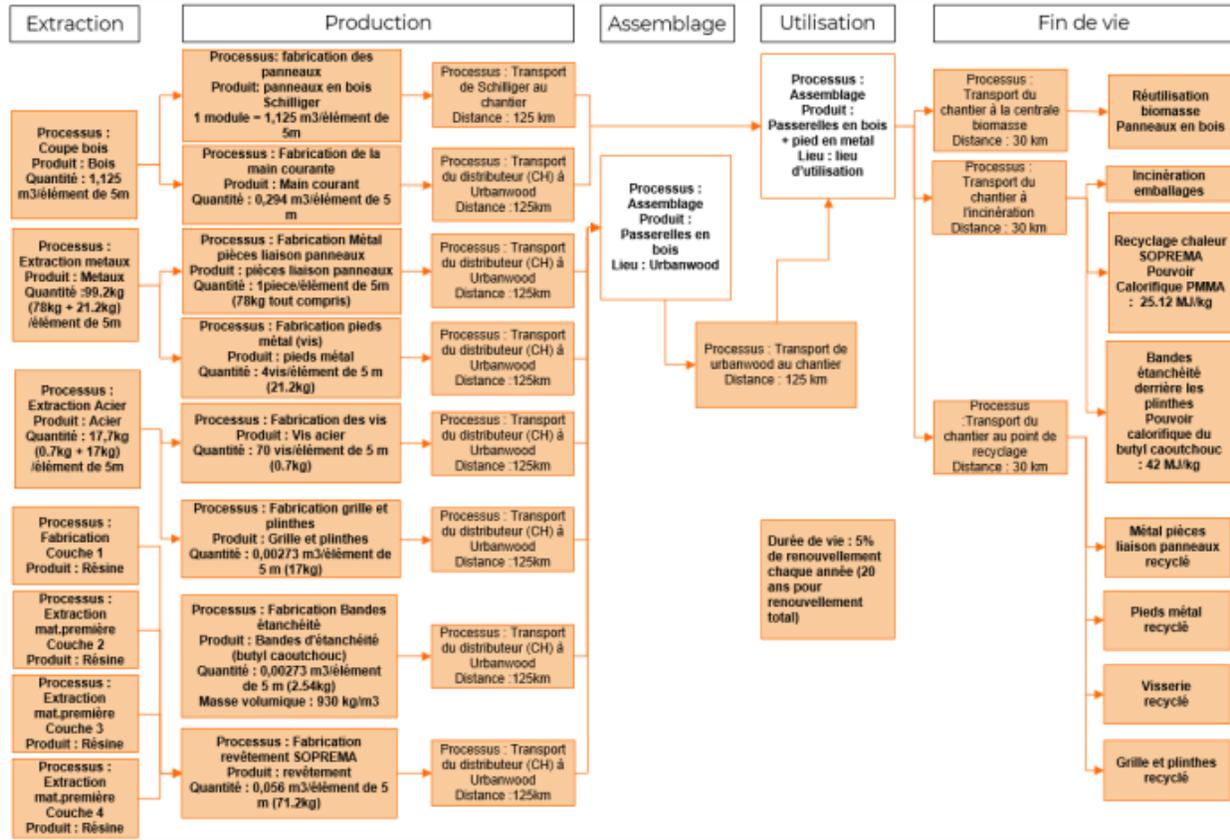


Figure 25. Flux de références pour le produit Urbanwood.

L'inventaire du cycle de vie (ICV) est un bilan complet des flux entrants et sortants, des ressources énergétiques, matières premières et transports nécessaires pour fabriquer un produit ou un système. Il intègre les données en amont, les ICV des produits intermédiaires entrant dans la constitution du produit fabriqué. Les données collectées pour les facteurs d'émissions pour les différents flux de référence du système produit proviennent d'une part de la base de données *Ecoinvent* et d'autre part de la déclaration environnementale de produit.

Après la collecte des informations, les données sont agrégées et rapportées à l'unité fonctionnelle du produit analysé. L'étape suivante consiste à convertir l'ICV en impacts environnementaux. On applique les facteurs d'émissions à chaque flux de référence inclus dans l'ICV. Dans le cas de cette étude, seul le bilan de gaz à effet de serre est considéré (kg CO₂ équivalent / UF)

Le tableau récapitulatif ci-dessous présente la source des données collectées pour les facteurs d'émissions.

Description du flux de référence	Unité	Quantité par module de 5m	Quantité par UF	Source des données pour les facteurs d'émission	Commentaires
Panneau en bois	m ³	1.125	22.5	Déclaration environnementale de produit (Schilliger Holz AG)	Effectuée le 23.06.2020
Main courante (lamellé-collé)	m ³	0.294	5.88	Déclaration environnementale de produit (Schilliger Holz AG)	Le processus de fabrication des Panneau en bois est similaire au lamellé-collé
Pièces de liaison en métal	kg	78	1560	Worldsteel association	Valeurs pour Extraction + fabrication d'acier + recyclage provenant de Worldsteel
Pieds de vis en métal	kg	21.2	424	Worldsteel association	Valeurs pour Extraction + fabrication d'acier
Grille et plinthes	kg	17	340	Worldsteel association	Valeurs pour Extraction + fabrication d'acier + recyclage provenant de Worldsteel
Visserie	kg	0.7	14	Worldsteel association	Valeurs pour Extraction + fabrication d'acier + recyclage provenant de Worldsteel
Bande d'étanchéité	kg	2.54	50.78	Ecoinvent v3.3	-
Revêtement SOPREMA	kg	71.2	1424	Ecoinvent v3.3	-
Transport (bois non inclus)	tkm	53.38	1068	Ecoinvent v3.3	Transport de marchandise par camion (32 t), Euro 6
Traitement des déchets (incinération)	kg	73.74	1474.8	Ecoinvent v3.3	Traitement des déchets, Incinération municipale, Suisse
Valorisation calorifique en électricité	MJ	-215	-4300	Ecoinvent v3.3	Mix électrique Suisse
Valorisation calorifique en chaleur	MJ	-435	-8701	Ecoinvent v3.3	Mix gaz naturel Suisse

Le processus de fabrication des panneaux en bois (CLT) est similaire à un processus de fabrication de bois lamellé-collé. Comme la main courante est du bois lamellé-collé, nous avons considéré les données déclaration environnementale de produit pour son processus de fabrication.

Selon les données de la fiche technique du fournisseur, la composition des bandes d'étanchéité est à base de butyle-caoutchouc avec feuille en aluminium calandré et revêtement en polyester résistant aux UV. Nous avons considéré que le processus de fabrication des bandes d'étanchéité est basé sur les données du caoutchouc-butyl (Polyisobutylène).

Selon les données de la fiche technique du fournisseur pour le revêtement, la composition du revêtement est à base de polyméthacrylate de méthyle (PMMA). La composition des 4 couches est considérée comme similaire avec 1/3 composé par le sable de quartz pour les 2 dernières. Le processus de fabrication pour le revêtement est donc basé sur les données du PMMA.

Nous avons considéré un renouvellement de 5% de tous les matériaux constituant la passerelle chaque année, ce qui correspond à 20 ans pour un renouvellement total de la passerelle.

Les sections en acier sont produites à la fois dans un four électrique à arc et dans un convertisseur à l'oxygène. Les bobines laminées à chaud sont l'un des premiers produits issus de cette filière. Le troisième produit, l'acier galvanisé à chaud, est un produit qui a subi de nombreux processus supplémentaires, tels que le laminage à froid, le décapage, le recuit et le traitement de surface. Les données sont basées sur des ensembles de données moyennes mondiales et comprennent l'ensemble des processus:

- Du berceau à la sortie d'usine
- Du berceau à la sortie d'usine, y compris le recyclage, avec un taux de recyclage de fin de vie typique de 85 %.

Ce taux de recyclage en fin de vie signifie que 85% de l'acier contenu dans le produit final sera recyclé lorsque le produit atteint la fin de sa vie utile. Le taux de recyclage de l'acier en fin de vie dépend du type de produit final. Les taux habituels pour le secteur automobile sont supérieurs à 95%, pour la construction environ 85% et pour le packaging environ 70%.

Ces valeurs sont basées sur l'avis des experts de *Worldsteel*. Elles sont considérées comme des valeurs conservatrices, car le recyclage des produits s'améliorera à l'avenir.

Nous avons choisi l'acier galvanisé à chaud qui est généralement constitué de bobines laminées à chaud qui ont subi un traitement supplémentaire (par exemple, un traitement de surface) et qui est recouvert d'une fine couche de zinc pour assurer sa résistance à la corrosion.

Le bilan « berceau au tombeau » d'une passerelle en bois de 100 m sur 1.60m pour une durée de vie de 20 ans en Suisse est présenté ci-dessous. L'utilisation du bois bénéficie d'un bilan carbone négatif et compense presque entièrement l'utilisation de l'acier. En revanche, le revêtement PMMA péjore le bilan carbone de 11 tonnes pour 100m de voie de mobilité douce. Ce bilan négatif reste cependant environ 3 fois inférieur à la construction d'un tronçon de route aux dimensions identiques.

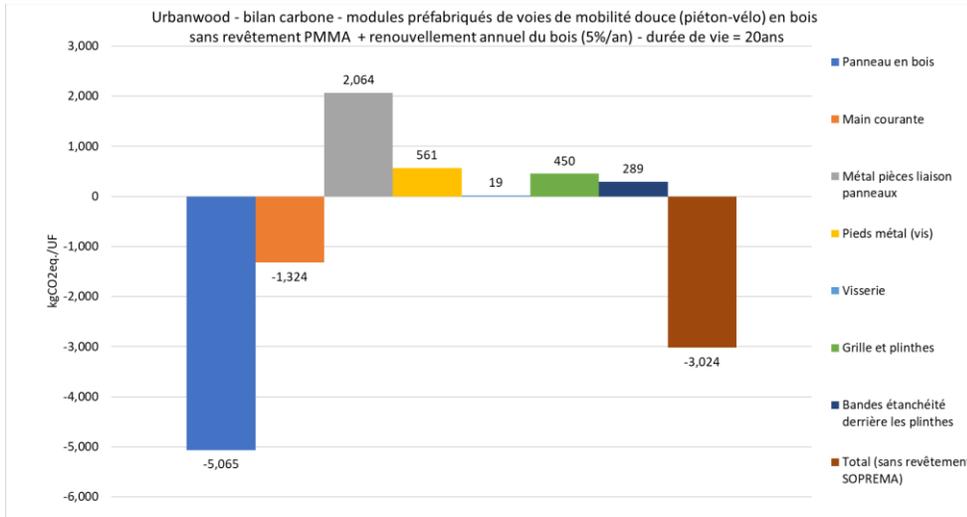


Figure 26. Bilan carbone négatif du produit Urbanwood sans revêtement sur une durée de vie de 20 ans.

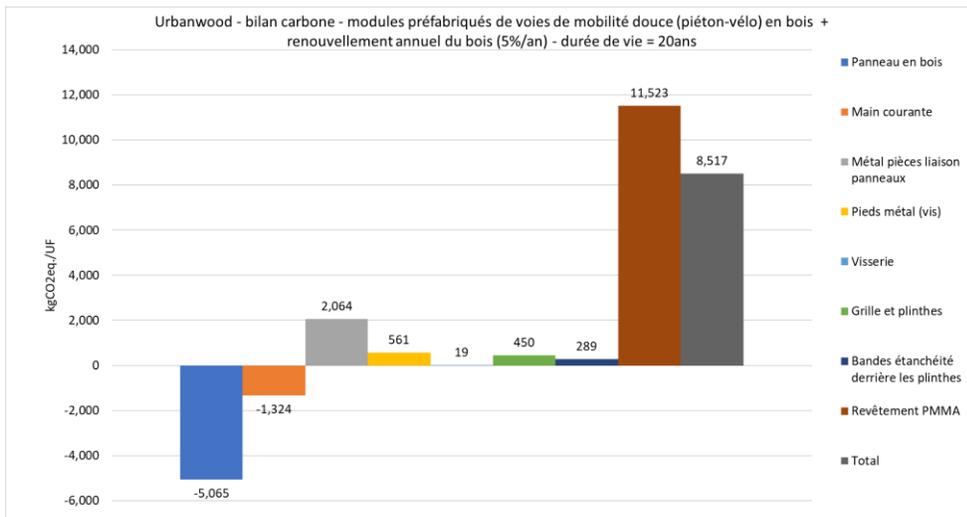


Figure 27. Bilan carbone du produit Urbanwood avec revêtement PMMA sur une durée de vie de 20 ans.

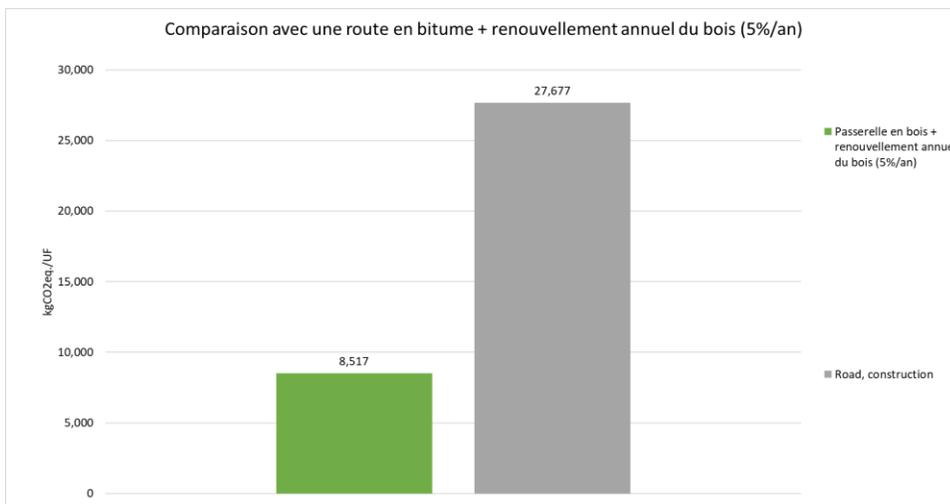


Figure 28. Bilan carbone du produit Urbanwood avec revêtement PMMA en comparaison avec une route en bitume sur une durée de vie de 20 ans.

4.5 Revêtement antiglisse et étanchéité

Pendant la première phase du projet, nous avons procédé aux évaluations techniques des solutions identifiées pour assurer l'étanchéité et donner une surface antiglisse sur le panneau de fond, avec les résultats suivants:

Solution	Avantages	Inconvénients
Moquette routière	Simplicité d'implémentation	Etanchéité : les dimensions requièrent trop de joints pour couvrir l'ensemble du panneau de fond et nécessite donc une étanchéité en couche inférieure
Derbigum	Etanchéité, résistance aux chocs, stabilité	L'application au chalumeau est peu compatible avec le bois, l'adhérence est trop faible en cas de pluie et verglas
Evergrip	Simple à appliquer, léger et durable	Etanchéité : pas adéquat en termes de dimensions standards, ne donnant pas la possibilité de faire des joints étanches ; produit très cher
PMMA	Etanchéité, résistance, stabilité	Coût d'application, coût et quantités des produits

Une solution à base de PMMA a été retenue pour le prototype, pour ses qualités d'étanchéité et de résistance. Afin de tester une variété de propriétés antiglisse, 3 différents types de surface ont été réalisées avec des granulométries fines à grossières.



Figure 29. Revêtement PMMA avec granulométrie fine, moyenne et grossière.

Un module a été fait avec la granulométrie fine, un autre avec deux types de granulométrie moyenne et le dernier avec la plus grossière. Lors des essais sous la pluie ou avec une fine couche de neige, il est clairement ressorti que seule la granulométrie la plus grossière garantit de bonnes propriétés antiglisse par tous les temps.



Figure 30. Tests antiglisse en cas de pluie ou de neige avec granulométrie moyenne et grossière.

Pour ce revêtement en PMMA, l'étape décisive a été de trouver le primaire adéquat pour garantir une bonne liaison entre le panneau de bois et les couches d'étanchéité. De concert avec les techniciens du fabricant, nous avons effectué plusieurs essais afin de déterminer le meilleur moyen de neutraliser le térébenthine naturel contenu dans les résidus de résine et nœuds et qui empêche la polymérisation des produits acryliques dans les zones concernées. Le problème a été résolu par l'application d'une résine bouche-pores en première passe. Cette couche a également permis de régler un second problème rencontré lors des différents essais. En effet, l'air présent dans les fissures et les nœuds du bois se trouve emprisonné par le primaire et augmente en volume lors du dégagement de chaleur lié à l'application de ce dernier. Ce phénomène va créer une faiblesse d'adhérence des couches successives dans la zone. En outre, l'air emprisonné va réagir aux variations de température après la prise et risque de détériorer cette zone avec le temps.



Figure 31. Apparition de bulle dans la couche primaire et manque d'adhésion aux nœuds du bois.

Une fois la surface complètement étanche, le raccord avec les éléments latéraux est à traiter avec soin. Nous avons donc inclus une bande d'étanchéité assurant ce raccord, tout en permettant un démontage aisé de chaque élément si une intervention devait être effectuée. Pour protéger l'angle des sollicitations mécaniques liées à l'exploitation du module, une plinthe en acier a été intégrée. Le captage de l'eau est effectué à chaque raccord de module. Celle-ci est récupérée au milieu des pièces de liaison et peut être soit évacuée via le réseau des eaux claires, soit stockée.

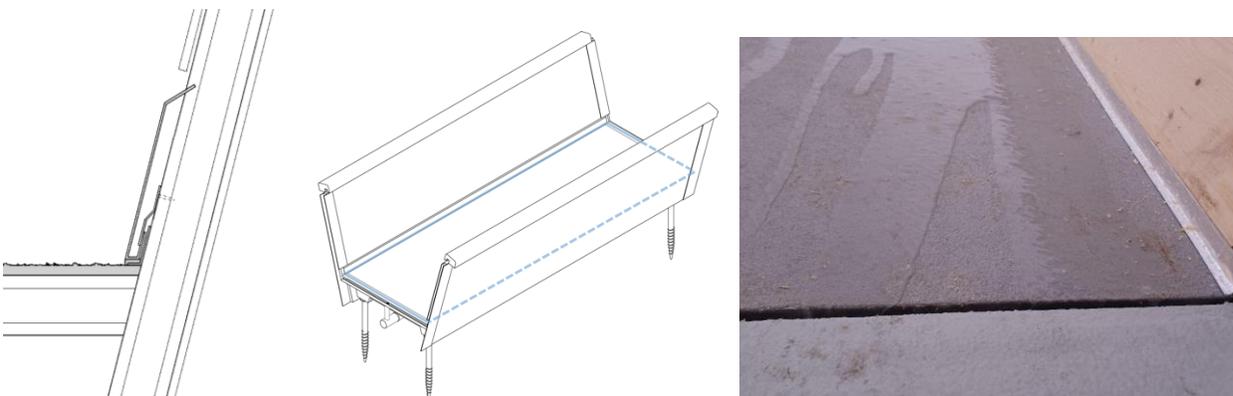


Figure 32. Détail d'étanchéité d'angle et tests d'évacuation de l'eau de pluie.

4.6 Ébauche de communiqué de presse

Urbanwood révolutionne la mobilité douce avec des constructions en bois prêtes à poser

Le jj mm 2022 - **Après les jouets LEGO et le mobilier IKEA, c'est au tour des voies cyclables et piétonnes d'être proposées en kits : URBANWOOD a développé des modules en bois à assembler pour construire en quelques jours une voie cyclable ou un trottoir sur n'importe quel type de terrain. Une révolution qui devrait séduire les communes qui attendent souvent des années avant de pouvoir concrétiser leurs programmes d'infrastructures de mobilité douce.**

Le bois suisse au lieu de l'asphalte

L'ambition d'Urbanwood est de faire rouler et marcher la population sur des routes en bois suisse. Cette combinaison de confort et écologie est dorénavant possible : en effet les modules préfabriqués d'Urbanwood sont constitués à 85% de bois, ce qui répond aux exigences écologiques actuelles, que ce soit en termes de conception, utilisation ou recyclage. Le cycle de vie du produit a été pensé dans un contexte de durabilité.

Une sécurité et un confort inégalés, loin des classiques bandes jaunes

L'idée de base était d'offrir une sécurité optimale aux adeptes de la mobilité douce, à l'abri des dangers de la circulation routière ; le design rappelle les passerelles cyclistes des pays nordiques, avec des garde-corps inclinés pour faciliter le croisement des vélos et une lumière dirigée sur le revêtement antiglisse pour un confort d'utilisation à toute heure.

Une infrastructure provisoire à vocation de long terme

La voie piétonne et cyclable Urbanwood a été conçue pour pouvoir mettre en œuvre un tracé à l'essai, afin que les porteurs de projets puissent tester et valider les besoins des usagers en conditions réelles et sans délai, et déplacer les modules préfabriqués en quelques heures pour les déployer sur un nouveau tronçon. L'infrastructure est pensée pour devenir définitive, avec une maintenance adéquate ; les modules devraient supporter 10, voire 20 ans de service avant d'être recyclés en énergie propre.

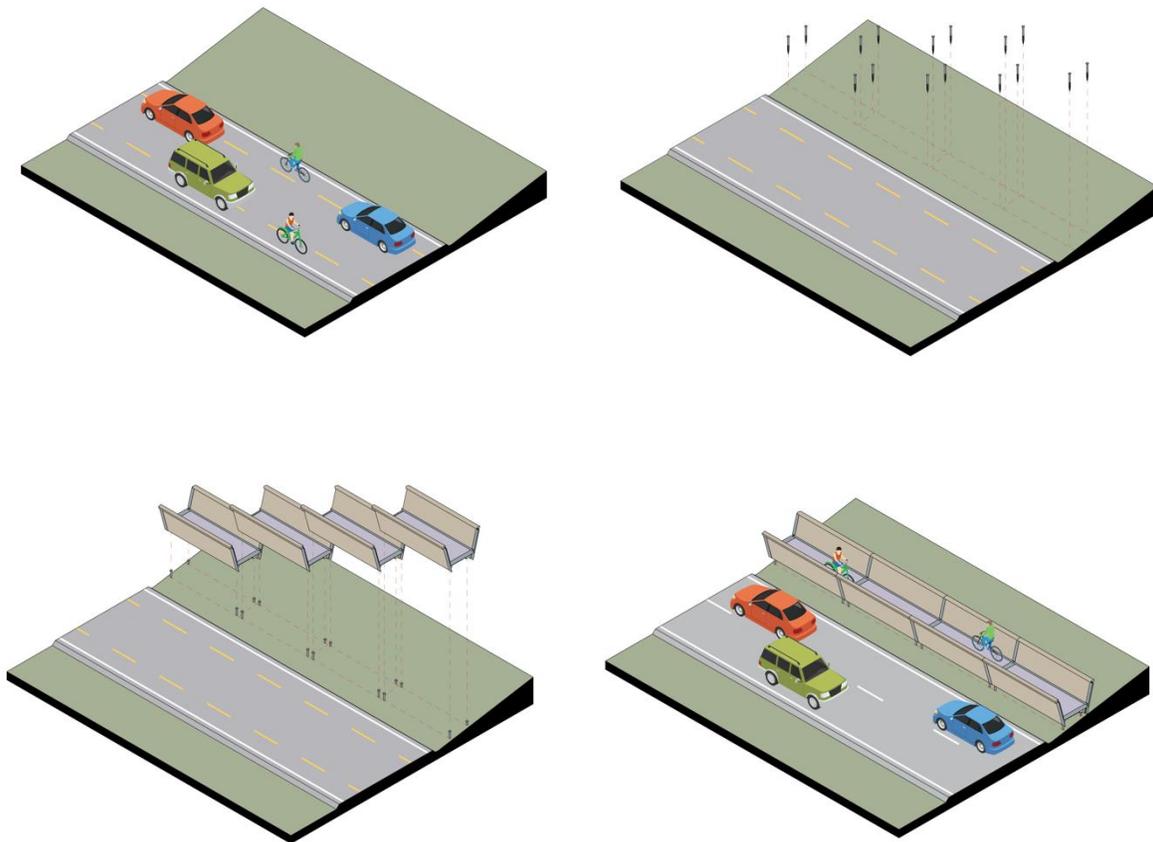


Figure 33. Illustration de pose des modules Urbanwood pour réaliser une voie de mobilité douce.

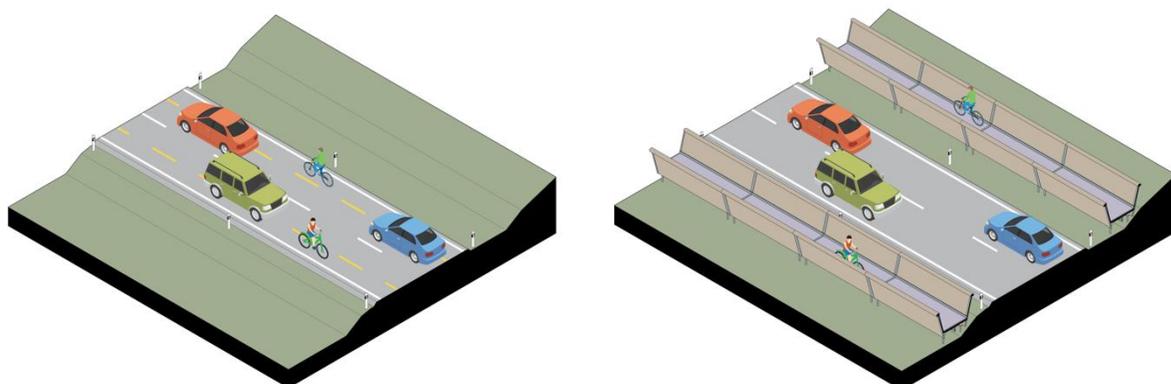


Figure 34. Voie de mobilité douce Urbanwood de chaque côté d'une route cantonale à fort trafic motorisé

Conclusions

L'idée de développer un prototype a été la bonne pour valider tous les éléments qui avaient été pensés et partiellement décrits (croquis initiaux, design des modules), mais pas encore concrétisés. Les progrès réalisés dans la conception des modules en bois ont dépassé les attentes de l'équipe de projet, mais aussi les bonnes surprises liées à l'assemblage des modules, qui n'ont pas révélé de problématique particulière. Une production en usine est donc parfaitement envisageable. Il faudra voir avec le temps si la structure résiste aussi bien que prévu en conditions réelles d'utilisation ou si des modifications seront nécessaires.

La réalisation du revêtement antiglisse a par contre demandé plus de travail que prévu. Le choix du produit et surtout le séquençage des couches pour obtenir une bonne adhésion sur le panneau de fond a demandé plusieurs essais. Finalement, la bonne collaboration technique avec le fournisseur du produit a permis de trouver une recette qui fonctionne et de finaliser les enduits en quelques jours. Pour ce qui concerne les essais antiglisse en cas de pluie ou de neige, un des 3 types de granulométries répond au cahier des charges avec une adhérence suffisante sous la semelle du soulier.

L'utilisation des vis de fondation s'est également avéré être un choix judicieux puisque la pose a pu se faire sans encombre et très rapidement. Cette approche devrait permettre de réaliser des voies de mobilité douce sur quasiment tous types de terrain et avec très peu d'entraves à la circulation et sans conditionnement préalable du terrain. Avec l'expérience de la fixation de nos modules de 5 mètres, nous avons calculé une cadence de 20 à 25 mètres de voie posés en une heure.

Les nouvelles normes VSS publiées en 2020 et mises en consultation pourraient exiger que la bande roulante soit de minimum 1.80m au lieu des 1.60m utilisés pour la construction des prototypes. Cela ne poserait pas de problème particulier, les réflexions menées dans le cadre du projet ont montré que la statique du module pourra également être garantie sur des largeurs bien plus importantes. Pour des voies piétonnes uniquement, une largeur de 1.60m pourra être maintenue et les garde-corps abaissés à 1m au lieu de 1.30m.

Le bilan carbone a confirmé l'avantage indéniable de l'utilisation du bois comme principal matériau de construction. En revanche, il a aussi mis en évidence le coût environnemental des résines polymères. Les divers fabricants de ces systèmes d'étanchéité, conscients de cette problématique, travaillent tous dans le développement de produits à faible impact écologique. Toutefois, l'étude du revêtement de la bande roulante devra donc être poursuivie, afin d'identifier d'autres pistes plus écologiques et potentiellement moins chères, tout en assurant la protection du panneau de fond et son caractère antiglisse.