Quels choix pour un design écoresponsable de cadres de vélos en fibre de carbone

Rapport d'analyse simplifiée du cycle du carbone

Réalisé par
Magog Vert

Pour
BeelivinU

8 mai 2023

Avis de non-responsabilité

Le client BeelivinU n'est pas responsable des informations retenues dans la présente analyse.

Magog Vert (Brigitte Blais) affirme avoir mené l'analyse au meilleur de ses connaissances, à partir de données trouvées dans la littérature scientifique.

Pour toute question, écrivez-nous à :

Magog Vert
a/s Brigitte Blais
819 868-2905 ou brigitte@taterre.com ou magog.vert@gmail.com

Version	Nom	Date
V1	Brigitte Blais	2023-05-08
V2	Brigitte Blais	2023-05-09

Norme suivie

Le présent rapport d'analyse simplifiée du cycle du carbone de cadres de vélos en fibre de carbone s'inspire partiellement de la norme ISO-14040 sans garantie de complétude. Des notions de la norme ISO-14064-1 ont également inspiré le rapport.

Organisme règlementaire

Le présent rapport ne sera pas soumis à un organisme règlementaire, à moins que le client décide éventuellement de le soumettre.

Table des matières

NORME SUIVIE 1
ORGANISME RÈGLEMENTAIRE 1
ACRONYMES 4

PROJET GES 5

TITRE ET LIEU DE RÉALISATION DU PROJET 5
DESCRIPTION DU PROJET 5
TYPE DE PROJET 5
DURÉE DU PROJET 5
LE PROMOTEUR DE PROJET 5
PÉRIMÈTRE DU PROJET 6
RESPECT DES PRINCIPES FONDAMENTAUX 6

VEILLE SCIENTIFIQUE 8

FABRICATION 8
ACHATS DE MATÉRIAUX 10
TRANSFORMATION 12
LIVRAISON 12
GESTION EN FIN DE VIE 12
ACCESSOIRES AUTOUR DU CADRE 13

ANALYSE SIMPLIFIÉE DU CYCLE DU CARBONE (ACC) 14

VISION DE L'ENTREPRISE 14
OBJECTIFS 14
SOURCES D'ÉMISSIONS 14
ÉTAPES 14

EMPREINTES CARBONES SELON LES CHOIX DU PROMOTEUR DE PROJET 16

CHOIX DES MATÉRIAUX 16
RECOMMANDATIONS 17
PROVENANCE DES MATÉRIAUX 18
CHOIX DE LA SOURCE D'ÉNERGIE 19
OFFRE DE RÉPARATION 19
GESTION DU PRODUIT EN FIN DE VIE 19
RÉSULTATS 16
MEILLEURS CHOIX 19

MÉTHODOLOGIE DES CALCULS D'ACC PAR ÉTAPE **20**

FABRICATION **20**
MÉTHODOLOGIE 20
ACHAT DES FOURNITURES **21**
MÉTHODOLOGIE 21
TRANSFORMATION **22**
MÉTHODOLOGIE 22
LIVRAISON **22**
MÉTHODOLOGIE 22
FIN DE VIE **23**
MÉTHODOLOGIE 23

MATÉRIAUX ALTERNATIFS **25**

LIN **25**
BAMBOU **25**

RÉFLEXION SUR LES OUTILS NÉCESSAIRES À LA TRANSFORMATION **26**

LOIS ET RÈGLEMENTS **26**

RECOMMANDATIONS POUR LES SUITES DU PROJET **26**

RÉFÉRENCES **28**

ANNEXE 1 – CHIFFRIER EXCEL DES CALCULS **29**

ANNEXE 2 – LOIS ET RÈGLEMENTS À RESPECTER **30**

Acronymes

ACC	Analyse du cycle du carbone
ACV	Analyse du cycle de vie
CFRP	Polymère renforcé à la fibre de carbone ou *Carbon fiber reinforced polymer*
CO_2	Dioxyde de carbone
g	Grammes
GES	Gaz à effet de serre
GJ	Gigajoules (1 000 000 000 joules)
Fibre UHM	Fibre Ultra haut module
kg	Kilogrammes
kWh	Kilowattheures
m^2	Mètres carrés
MJ	Mégajoules (1 000 000 joules)
PAN	Polyacrylonitrile
R&D	Recherche et développement
t	Tonnes
t CO_2 eq	Tonnes de CO_2 équivalent
t.km	Portion de tonnes par kilomètre parcouru attribuable à l'objet transporté (selon son poids) dans un véhicule de livraison
10^6	1 000 000

Le présent rapport explore, pour BeelivinU, l'empreinte carbone d'un projet de production de cadres de vélos en fibre de carbone, à Montréal versus en Asie. Une analyse simplifiée du cycle du carbone a été menée, de la fabrication à la fin de vie du produit, à partir de données obtenues dans la littérature scientifique. L'empreinte carbone de différentes options, à différentes étapes de production, est également présentée.

Projet GES

Titre et lieu de réalisation du projet

Projet de fabrication de vélos en fibre de carbone à Montréal (Qc, Canada).

Description du projet

Le projet consiste à fabriquer des vélos en fibre de carbone, légers (1.9 kg), hauts de gamme, performants. Le cadre et plusieurs pièces pourraient ainsi être usinés à Montréal, alors que d'autres pièces pourraient être importées surtout du Canada et de l'Est des États-Unis, et d'ailleurs, en visant le moins possible.

BeelivinU ayant des préoccupations environnementales, le porteur de projet souhaite concevoir un design dont l'empreinte carbone sera la plus faible possible, dès le départ. Il désire également pouvoir comparer son produit avec une production équivalente en Asie.

L'origine des matériaux et l'énergie nécessaire à sa transformation, sa livraison et son recyclage font ainsi partie de l'évaluation.

Le public-cible à qui les vélos sont destinés est dans un périmètre de 500 km autour de Montréal, limitant le transport lié à la livraison et à l'entretien du produit.

Type de projet

Projet industriel.

Durée du projet

L'entreprise est en prédémarrage. L'objectif étant de démarrer une petite usine de production, il n'y a pas de fin de projet prévue.

Le promoteur de projet

Le promoteur du projet est Benjamin du Haÿs, fondateur de la future entreprise BeelinviU.

Périmètre du projet

La présente analyse se limite à la production des ***cadres*** de vélos en fibre de carbone. Les étapes analysées (le périmètre du projet) sont : l'achat d'un rouleau de fibre de carbone déjà fabriqué (ou de bobines de fils à tisser), sa transformation, sa livraison et sa gestion en fin de vie. Toutefois, un court passage de la veille scientifique fait état de l'empreinte carbone de l'étape de la *fabrication* sous la responsabilité du fournisseur.

Respect des principes fondamentaux

1. Pertinence :

Les données utilisées dans le chiffrier proviennent surtout d'analyses de cycle de vie ayant fait l'objet d'une publication scientifique. D'autres données proviennent d'entreprises semblables qui produisent des vélos en fibre de carbone. Ces dernières données n'ont toutefois pas pu être vérifiées, probablement pour des raisons de secret industriel. Le présent rapport n'est pas prévu être vérifié, puisque le promoteur du projet ne cherche pas, pour l'instant, à générer des crédits de carbone.

2. Complétude :

La présente étude concerne les cadres de vélos seulement. La fabrication des rouleaux de fibre de carbone, de l'époxy et du durcisseur a été survolée grâce à des données obtenues par des études scientifiques. Puis, pour chacune des étapes subséquentes, sur lesquelles le promoteur du projet a un pouvoir de décision, des calculs ont été faits afin que le promoteur du projet puisse décider, de manière éclairée, quels seront ses choix d'intrants.

3. Cohérence :

Les facteurs d'émissions choisis sont ceux reconnus par le Canada ou la communauté internationale. Les données autres que l'énergie utilisée et les modes et distances de transport sont comparables.

4. Transparence (vérifiabilité) :

L'ensemble des calculs sont disponibles et affichés dans le chiffrier Excel en annexe du présent rapport, ainsi que les sources d'où proviennent les quantités présentées. Ainsi, tout vérificateur pourra s'assurer de la pertinence des données et des calculs.

5. Additionnalité :

Le cours normal des affaires correspond à la fabrication de cadres de vélos en Asie ou en Afrique, là où la main-d'œuvre est moins onéreuse, puisque le procédé de fabrication est intensif en main-d'œuvre. Ainsi, le choix de fabriquer les cadres à Montréal démontre une additionnalité volontaire au projet.

6. Réalisme :

Le projet cherche à éviter des émissions de carbone en choisissant de la fibre de carbone fabriquée au Canada ou aux États-Unis, en utilisant de la fibre de lin du Canada, en utilisant de l'hydro-électricité comme source d'énergie et en assurant la réparation et le recyclage des cadres en fibre de carbone en fin de vie. Les émissions évitées seront ainsi mesurables.

7. Gestion de l'incertitude :

a. Précision:

Seule une donnée a démontré une variabilité importante puisque deux études scientifiques menées dans deux pays différents ont démontré des résultats d'ACV fort différents. Il s'agit de l'énergie nécessaire à la pyrolyse pour le recyclage de la fibre de carbone.

b. Prudence:

Les données utilisées proviennent d'études scientifiques. Les facteurs d'émissions du Québec sont ceux de l'hydroélectricité, ceux de la Chine du charbon et ceux de l'Angleterre du gaz naturel. Lorsqu'aucune donnée correspondant aux visées du client n'étaient disponibles, une données conservatrice disponible était utilisée, par exemple, pour le poids d'une fibre.

c. Permanence:

Tant que le promoteur de projet choisira des matériaux, énergies et gestion de fin de vie à proximité du lieu de transformation, la permanence des réductions sera assurée. Si par contre il ne gère pas la fin de vie des vélos qu'il met en marché, une fuite de réduction sera observable.

d. Fuites :

Les fuites suivantes sont possibles :

1) si les rouleaux de fibre de carbone sont produits dans un pays dont l'électricité est produite au charbon ou au gaz naturel ou avec tout autre combustible fossile;
2) si la distance entre le lieu de production de la fibre et le lieu de transformation est élevé;
3) si le promoteur du projet abandonne l'idée de gérer les vélos de ses clients en fin de vie.

Veille scientifique

Une recherche a été menée dans la littérature scientifique afin d'obtenir des données utiles aux calculs faits dans le chiffrier en annexe. Voici des résumés de résultats éclairants pour chacune des étapes étudiées.

Fabrication

Bien que le présent rapport exclue l'étape de la fabrication des rouleaux de fibre de carbone, il est important pour BeelinviU de prendre conscience que cette étape est celle qui a la plus grande empreinte carbone. Voici donc quelques constats rencontrés en cours de recherches.

Selon une analyse du cycle de vie des composites de fibres de carbone et de biofibres préparés par la technique d'ensachage sous vide, « *La fabrication de la fibre de carbone est un processus* ***énergivore*** *et produit à partir de polyacrylonitrile (PAN), qui est un thermoplastique synthétique qui subit une polymérisation entraînant une* ***empreinte carbone élevée*** ». La fabrication du matériau composite consommerait 1100 MJ d'énergie pour 1 kg de fibre de carbone, alors qu'elle en consommerait 203 MJ pour 1 kg de fibre de lin (Ramachandran, Gnanasagaran, & Vekariya, 2023).

Par ailleurs, cette même analyse de cycle de vie (ACV) relève une série d'autres impacts, tel qu'illustré dans le tableau 1 suivant :

Table 1
Different toxicity emissions from carbon-fiber composites.

Processing technique	Acidification (SO_2 Eq.)	Human toxicity cancer (CTUh)	Human toxicity non-cancer (CTUh)	Respiratory inorganics (diseases incidence)	Ecotoxicity (CTUe)
Autoclave	0.00612	0.183	0.12	0.419	0.693
Finishing/winding	0.00654	0.196	0.128	0.448	0.074
Prepreg	0.011	0.338	0.215	0.753	0.124
Pyrolysis	0.0113	0.338	0.221	0.772	0.128
Sheet moulding	0	0	0.0189	0.0659	0.0109
Stabilisation	0.0203	0.609	0.398	1.39	0.23
Surface treatment	0.00115	0	0.0225	0.0786	0.013
Vacuum bagging	0	0	0	0.003	0
Carbonisation	0.0539	1.62	1.06	3.69	0.61
Nitrogen	0	0	0.0135	0.0672	0.0163
PAN fiber	0.0206	5.2	0.602	1.35	1.22

Source : Ramachandran et al.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1526612523000944, page 28

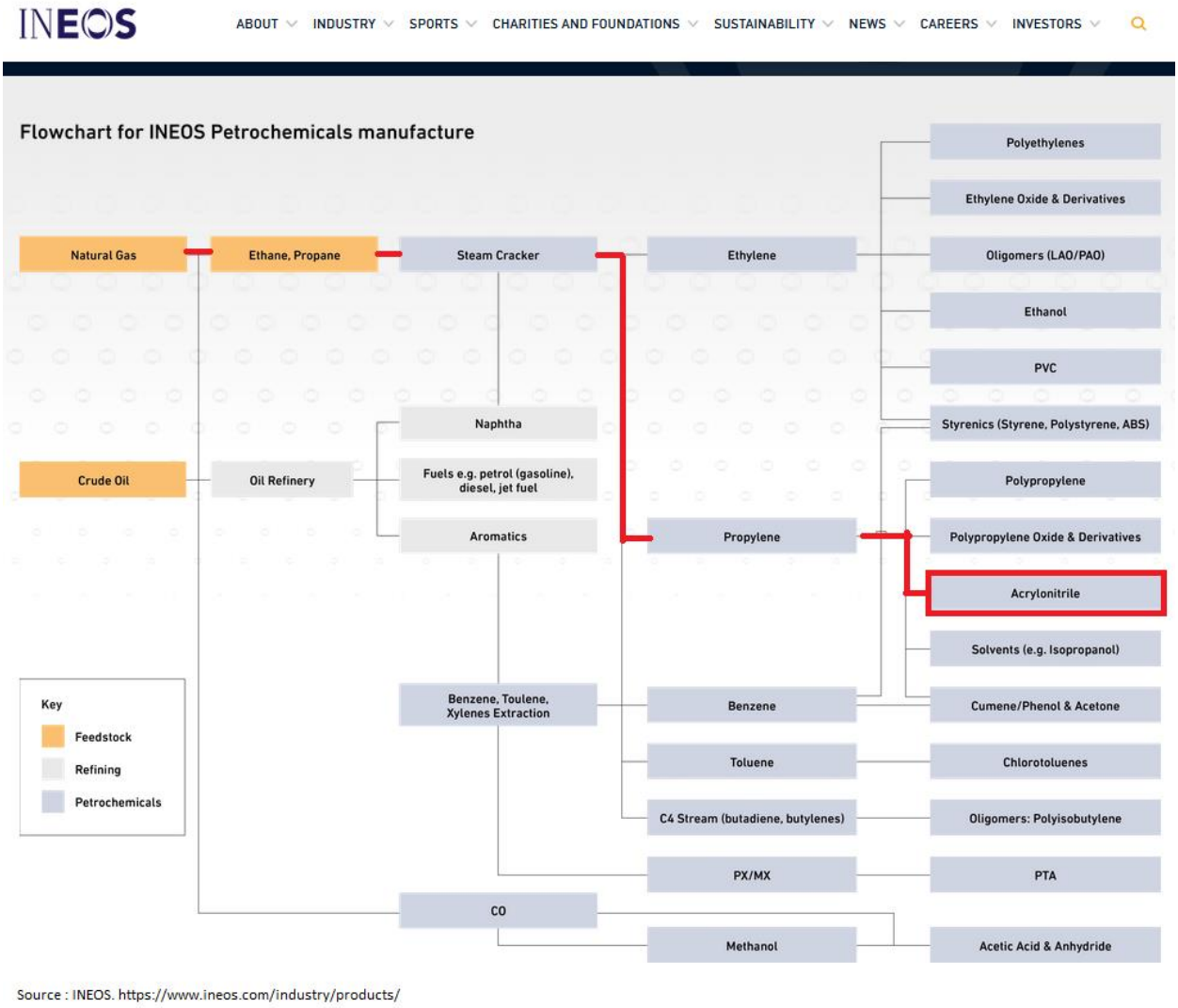

Figure 1 : Origines fossiles de la fibre de carbone

Une autre étude a analysé l'empreinte carbone de l'utilisation d'une fibre vierge versus l'utilisation d'une fibre issue du recyclage d'un polymère renforcé à la fibre de carbone (CFRP), c'est-à-dire du composite fibre de carbone-époxy-durcisseur. Il s'avère qu'utiliser une **fibre recyclée comme matière première** réduirait de beaucoup l'empreinte carbone du produit (1,52 kg CO_2 eq / kg de fibre), comparativement à l'utilisation d'une fibre vierge (24 kg CO_2 eq / kg de fibre). Ainsi, utiliser volontairement une fibre recyclée vaudrait, sur le marché du carbone, une réduction d'émissions, puisqu'aucune loi n'oblige le fabricant à l'utiliser. Ce crédit ramènerait l'empreinte carbone du produit à 0,57 kg CO_2 eq / kg, selon les auteurs. (Kawajiri & Kobayashi, 2022)

Enfin, un centre de recherche de St-Hyacinthe (Groupe CTT) mène des recherches sur le recyclage par pyrolyse à micro-ondes du CFRP. Le produit fini est une fibre qui pourra être tissée, comme la fibre vierge. L'utilisation de cette fibre recyclée pour la conception de certains produits, émet 5 fois moins de GES que de produire avec de la fibre vierge synthétique (Dega C. , 2021).

Achats de matériaux

Une analyse de cycle de vie menée au Bangladesh sur la production de vélos en **aluminium,** pour la vente au Bangladesh, arrive à la conclusion que l'aluminium est un matériau à impacts importants, notamment sur la toxicité humaine. De plus, **la production locale**, démontre une plus faible empreinte que des vélos importés de l'Europe et ce, pour des impacts sur les changements climatiques, sur la toxicité humaine, sur l'émission de particules, l'épuisement des ressources de métal et d'énergies fossiles. (Papon, Danesh, & Tasneem, 2019)

Pour ce qui est de **la fibre de carbone**, c'est un matériau qui est à la fois léger et résistant, de plus en plus en demande pour une grande variété d'applications, dont la fabrication de vélos. Selon une étude menée sur la chaîne d'approvisionnement de la fibre de carbone, en 2012 l'offre excédait la demande, alors qu'en 2020 la demande excédait l'offre, signe d'un engouement pour ce matériau produit dans des quantités limitées. L'offre inférieure à la demande explique également son coût élevé. (Das, Warren, West, & Schexnayder, 2016)

Distances entre Montréal et les fournisseurs de matières premières ou matériaux

Puisque la distance est un facteur important dans l'empreinte carbone d'un produit, voici en kilomètres les lieux d'importation possibles de fibres en rouleau, d'époxy et de durcisseur. BeelivinU aura ainsi avantage à se procurer sa fibre de carbone chez les fournisseurs les plus rapprochés de Montréal pour réduire l'empreinte carbone des transports.

Rayplex Ltd semble le plus rapproché, en Ontario : 341 Durham Crt. Oshawa,Ont Canada L1J 1W8. Il vend à la fois des mètres de tissus en fibre de carbone, des tubes (chaussettes), de l'époxy et des pigments de couleurs. De plus, le poids du tissu n'est que de 6 oz/m^2.

BeelivinU souhaite par ailleurs se procurer des bobines de fibres de carbone et des bobines de fibre de lin dans le but de tisser lui-même, à Montréal. De la recherche et développement (R&D) devra être menée afin de découvrir dans quelles proportions de carbone versus lin l'entreprise atteint les propriétés recherchées. En effet, plus il y aura de lin dans la composition du cadre du vélo, moins grande sera son empreinte carbone, puisque le lin séquestre du carbone lors de sa croissance et demande moins d'énergie à être transformée et recyclée.

Le tableau 2 suivant se retrouve également dans l'onglet « Achat de fournitures » du chiffrier Excel en annexe 1, avec les références en hyperlien. Il démontre des **distances de 0 à 10 407 km** selon le matériau et le fournisseur choisi. Ces kilomètres de transports sont une source importante de gaz à effet de serre. C'est pourquoi le choix d'un fournisseur en Amérique du Nord, voir au Canada, serait à privilégier. La **fibre de lin,** en plus de séquestrer du carbone lors de sa croissance, aurait notamment des propriétés fort intéressantes et compétitives avec les fibres composites synthétiques. Elle est par exemple plus légère que la fibre de carbone et nécessite moins d'eau pour sa fabrication[1]. De plus, si le lin est cultivé avec moins de pesticides, et que la filature de fibre est contrôlée, elle peut encore réduire son empreinte carbone. (Ramachandran, Gnanasagaran, & Vekariya, 2023)

La figure 2 présente, à titre indicatifs, d'autres impacts identifiés dans le cadre d'une analyse complète du cycle de vie des composites et biocomposites de la fibre de carbone. On y constate que les composites ont des impacts supérieurs, mais que les biocomposites ont également leurs impacts, dans une moindre mesure.

Le Tableau 2 présente des fournisseurs potentiels de matériaux, selon leurs distances de Montréal. Les hyperliens vers les sites web des fournisseurs sont dans l'annexe 1, onglet 2. Achats de fournitures, cases G77 à G92.

[1] https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1718903/lin-agriculture-transformation-fibre-innolin

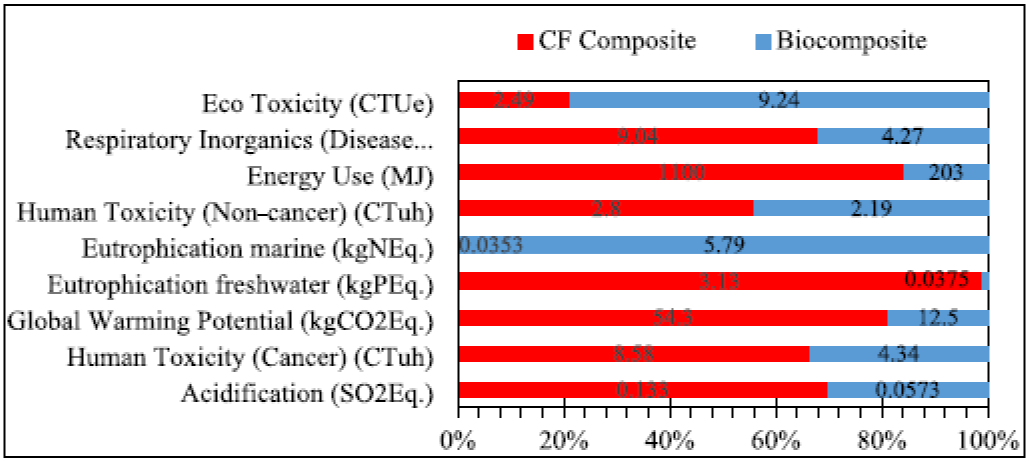

Fig. 3. Environmental analysis of carbon fibers composites and biocomposites.

Figure 2 Analyse environnementale des composites et biocomposite de la fibre de carbone

Tableau 2 : Fournisseurs de matières premières et distance entre ceux-ci et Montréal

Voir l'Annexe 1, onglet « Achats de fournitures » pour voir plus clair et cliquer sur les liens.

Calcul des distances entre Montréal et le lieu d'importation de la fibre de carbone (et de résine)

Produit	Entreprise	Ville	État	Distance de Montréal Selon GoogleMap et www.distancede.com	Note
Époxy, résines	**EcoPoxy (Fabricant)** et **Langevin Forest** (détaillant à Mtl)	**1-Fabricant** : EcoPoxy, Box 220, Morris MB, R0G 1K0 **2-Détaillant** au Qc : Langevin Forest, 9995 Boul. Pie-IX (Boul. Industriel), Montréal (QC) H1Z 3X1	Manitoba et Québec, Canada	2246	EcoPoxy GelCoat and BioPoxy 36® : résine écologique. Distributeur à Mtl : Langevin Forest
Fibre de lin et fibre de carbone recyclé	**Groupe CTT**	3000, avenue Boullé Saint-Hyacinthe (Québec) J2S 1H9 Canada	Québec, Canada	60	https://gcttg.com/en/research-and-development/ecotextiles-and-processes/
Fibre de carbone en tube (chaussettes), en feuilles, etc., résine, époxy, kits de fabrication tout inclus. Très léger.	**Rayplex Ltd.**	341 Durham Crt., Oshawa	Ontario, Canada, L1J 1W8	486	Rayplex Ltd. Vend tout le kit, ainsi que la résine et des chaussettes et des rouleaux
Fibre de lin (R&D)	**Innolin**, installé au Centre de formation professionnelle Mont-Joli-Mitis	Saint-Joseph-de-Lepage	Québec, Canada	580	Centre de formation professionnelle Mont-Joli-Mitis (CFPMM) 1414, rue des Érables Mont-Joli, Québec G5H 4A8 Téléphone : 418 775-7577 poste 1500 Télécopieur : 418 775-8262 courriel: cfpmm@cspphares.gouv.qc.ca
Fibre de Carbone		Rock Hill, SC	Caroline du Sud (SC)	1614	Das, Warren & West.
Fibre de Carbone		Greenville, SC	Caroline du Sud (SC)	1725	Das, Warren & West.
Fibre de Carbone		Rockwood, TN	Tennessee (TN)	1748	Das, Warren & West.
Fibre de Carbone		St. Charles, MO	Missouri (MO)	1772	Das, Warren & West., dans la zone des tornades
Fibre de Carbone		Decatur, Al	Alabama (Al)	1946	Das, Warren & West., dans la zone des tornades
Fibre de Carbone		Evanston, WY	Wyoming (WY)	3442	Das, Warren & West.
Fibre de Carbone		Salt Lake City, UT	Utah (UT)	3586	Das, Warren & West.
Fibre de Carbone		Moses Lake, WA	Washington (WA)	4054	Das, Warren & West.
Fibre de Carbone		Sacramento, CA	Californie (CA)	4610	Das, Warren & West.
Fibre de lin	**Bcomp**	Fribourg	Suisse	5933	https://www.bcomp.ch/solutions/powerrs/
Fibre de carbone et de polyéthylène à très haut poids moléculaire (UHMwPE)	**Carbon with Dyneema®**	SEM Office: Specialty Engineered Materials, GLS Thermoplastic Elastomers , Manufacturing Plant 77 Shenggang Street, SIP, Suzhou, China , 215021	China	7000	https://www.dyneema.com/our-products/dyneema-fabric
		5750 Greenville Blvd NE Greenville, NC, United States , 27834	North Carolina, États-Unis	1385	

Transformation

Méthodes de fabrication de cadres en fibre de carbone

Le moulage de la vessie (bladder molding), le moulage par compression, l'infusion sous vide et le traitement en autoclave sont toutes des étapes de fabrication de tubes en fibre de carbone qui nécessitent de l'énergie.

Consommation d'énergie à la transformation sous vide

En termes de **consommation d'énergie**, l'étude de Ramachandran et al. a analysé la différence d'énergie nécessaire à la transformation de fibre de lin versus les fibres de carbone à partir de PAN (polyamides – cyanides), toutes deux par infusion sous vide (vacuum bagging). Les résultats démontrent qu'il faut 202 MJ/kg de fibre de lin, contre 1100 MJ/kg de fibre de carbone. Cette intensité énergétique présente ainsi une empreinte importante de la fibre de carbone. (Ramachandran, Gnanasagaran, & Vekariya, 2023)

Moulage par compression

"Les statistiques montrent que les IMM consomment 6,68 × 108 GJ d'énergie chaque année dans le monde (Thiriez et Gutowski, 2006, Iwko et al., 2018), ce qui équivaut à 1,86 × 1011 kWh d'électricité. Habituellement, 1 tonne de charbon peut générer 3 000 kWh d'électricité et émettre 2,7 tonnes de CO_2. Par conséquent, les IMM consomment 6,18 × 107 tonnes de charbon et émettent 1,67 × 108 tonnes de CO_2 chaque année dans le monde." (He Liu, Xiaogang Zhang, Long Quan, & Hongjuan Zhang, 2021). **Ce que l'on peut retenir** de cette citation, c'est que toute production dans un pays où l'électricité est générée grâce à la combustion du charbon a de grandes conséquences sur les émissions de gaz à effet de serre. Ils sont donc à éviter par BeelivinU pour répondre à ses objectifs d'empreinte minimale.

"Les valeurs de consommation d'énergie spécifique (SEC) pour les machines hydrauliques, hybrides et tout électriques analysées sont respectivement de 19,0, 13,2 et 12,6 MJ/kg (y compris les auxiliaires, le compoundage et l'inefficacité du réseau électrique)". (Thiriez & Gutowski, 2006) **Ce que l'on peut retenir** de cette citation, c'est que les machines toutes électriques sont celles qui consomment le moins d'énergie par kilogramme du produit.

Livraison

Aucune revue scientifique n'a été menée sur la livraison. Il est connu que la distance parcourue entre l'usine et le client ultime, ainsi que le type de véhicule choisi pour la livraison (avion, bateau, train, camion lourd versus camionnette électrique) sont les paramètres qui influeront sur l'empreinte carbone de la livraison.

Gestion en fin de vie

Par ailleurs, en fin de vie, la fibre de carbone présente des enjeux de recyclabilité. En 2013, il existait quatre méthodes de recyclage des composites de résine renforcée de fibres : le recyclage mécanique, la pyrolyse, un procédé à lit fluidisé et le recyclage chimique, chacun avec leurs défauts et leur demande en énergie. (Pinglai, Juan, & Jiangping, 2013)

Une étude de l'Université de Kinsgton au Royaume-Uni a cherché à savoir quel matériau, entre la fibre de carbone (synthétique) et les fibres de biocomposites (matériaux d'origine biologiques) avaient la plus faible empreinte carbone et le meilleur taux de recyclabilité. Avec des propriétés semblables (et même plus légères pour la fibre de lin), il s'avère que les bio composites sont plus faciles à recycler tout en détenant un potentiel de réchauffement climatique de 12 kg CO_2 équivalent, comparativement à 54 kg CO_2 équivalent pour la fibre de carbone, ce qui représente une empreinte 4 fois moins grande pour le lin. (Ramachandran, Gnanasagaran, & Vekariya, 2023)

Une autre étude a tenté d'évaluer si le **recyclage par vapo-thermolyse** avait plus d'avantages, sur tout son cycle de vie, que **l'enfouissement (non-recyclage)** de la fibre de carbone composite. « La vapo-thermolyse est le procédé qui combine la pyrolyse et la vapeur d'eau surchauffée à pression ambiante afin de décomposer la matrice organique du composite ». Deux composites ont été évalués, soit les matrices polyamide 6 et polysulfure de phénylène. Les fibres récupérées sont ainsi propres, régulières et similaires aux fibres neuves, quoique leur *résistance à la traction* n'est que de 80% par rapport à la fibre neuve. Selon cette étude, « la valorisation des composites par récupération des fibres de carbone, amène des avantages évidents d'un point de vue environnemental ». (Oliveira Nunes & al., 2015) Parmi ces avantages, notons l'absence d'extraction de matière première du sol et l'absence de transformation pétrochimique énergivore et polluante, parmi d'autres avantages.

D'autres recherches et développements sont en cours, notamment au Groupe CTT à St-Hyacinthe, pour séparer les fibres de carbone de leurs résines et durcisseurs (CFRP), **par pyrolyse à micro-onde**. Le procédé prend 7 minutes à 650 watts pour séparer 99% de la résine de la fibre et consomme beaucoup moins d'énergie. En termes d'émissions de GES, produire de la fibre recyclée émet 5 fois moins de GES que de produire de la fibre vierge (Dega C. , 2021).

Accessoires autour du cadre

Selon l'étude *Cycling mobility – a life cycle assessment based approach,* l'utilisation de **roues (jantes) en fibre de carbone**, plutôt qu'en aluminium, présente un gain important en termes de réduction de l'empreinte environnementale du vélo, sur tout son cycle de vie. À l'inverse, l'utilisation **d'une fourche en fibre de carbone** plutôt qu'une fourche en *acier faiblement allié* réduit de peu son empreinte environnementale sur différents impacts. Ainsi, les pièces en **aluminium** sont celles qui ont la plus grande empreinte, alors que les pièces en **acier faiblement allié** ayant une faible empreinte rivalisent avec la fibre de carbone. En bref, choisir la fibre de carbone plutôt que l'aluminium réduit l'empreinte environnementale du vélo, du moins pour cette étude qui compare les vélos des Pays-Bas versus ceux du Portugal. Notons que **cette étude n'a pas évalué le cycle de vie d'un cadre de carbone**, mais bien de jantes de carbone et d'une fourche de carbone. (Margarida & Diogo , 2015)

Les impacts évalués par cette étude sont : les atteintes à la santé pulmonaire (par des particules organiques et inorganiques), la contribution aux changements climatiques (par des émissions de gaz à effet de serre), l'émission de radiations, l'atteinte à la couche d'ozone, les impacts écotoxiques, l'acidification et l'eutrophisation des eaux, l'utilisation des terres, l'utilisation de minéraux, et l'utilisation de combustibles fossiles. (Margarida & Diogo , 2015)

Analyse simplifiée du cycle du carbone (ACC)

L'analyse actuelle s'est limitée à l'empreinte carbone de chaque étape de la production d'un cadre de vélo en fibre de carbone. D'autres analyses de cycle de vie évaluent également les besoins en eau, les impacts sur la santé humaine, sur la biodiversité, sur la qualité de l'air, etc… ce qui n'est pas le cas ici.

Vision de l'entreprise

1. Utiliser des produits recyclés / produits biologiques
2. Supprimer la dépendance à tout fournisseur éloigné
3. Produire un produit de la meilleure qualité que nous puissions fabriquer à tout moment

Objectifs

Parmi les objectifs du projet, voici ceux relatifs à l'empreinte environnementale du produit :

1. Déterminer quels sont les meilleurs choix de matériaux ;
2. Déterminer quelle est la provenance acceptable ou non des matériaux et des pièces;
3. Influencer le design des vélos que produira BeelivinU.
4. Créer un design qui aura le moins d'empreinte possible sur l'environnement
5. Travailler avec des fournisseurs locaux (80%) du Canada ou de l'Est des États-Unis
6. Concevoir, fabriquer et assembler les vélos localement
7. Éviter l'obsolescence programmée
8. Avoir une connaissance profonde de notre impact sur l'environnement
9. Desservir des clients dans un périmètre de 500 km à la ronde

Sources d'émissions

Les principales sources d'émissions de gaz à effet de serre identifiés au cours de la présente analyse sont :

1. Les émissions liées aux transports de la matière première, du produit fini et du produit en fin de vie ;
2. Les émissions liées aux sources d'énergies nécessaires à la production d'électricité ;

Étapes

La *fabrication* de la fibre comme telle n'a été analysée que modestement, à partir de données trouvées dans une étude scientifique.

Les étapes suivantes ont fait l'objet de recherches et de calculs plus avancés, avec des données provenant des études scientifiques citées plus haut :

1. Achat de matières de fournitures
2. Transformation
3. Livraison
4. Gestion en fin de vie

Achat des matières premières / Chaîne d'approvisionnement

Parmi les défis de BeelivinU se trouve la recherche de la légèreté et de leur qualité des matériaux, jumelée à un désir d'approvisionnement local. Dans le meilleur des mondes, le cadre pèserait 1 kg, la fourche 300 g et les deux jantes 600 g au total, pour un total de 1,9 kg. Moins 40% de résine (0,76 g), cela correspond à 1,14 kg pour le cadre, la fourche et les jantes.

La provenance des matières premières et/ou des pièces, leur composition et leur cycle de vie propre, avant même leur arrivée dans l'usine de BeelivinU, auront un impact sur l'empreinte carbone du produit fini. Les choix qui seront pris par l'entreprise, tout au long de la chaîne d'approvisionnement, impacteront l'empreinte carbone du produit fini.

Lors de son approvisionnement, BeelivinU devra choisir parmi les possibilités suivantes :

Achat de fibre

1. Fibre vierge issue de la pétrochimie
    a. Du Canada / Ontario
    b. De l'Est des États-Unis
    c. De l'Europe / Suisse
2. Fibre recyclée par pyrolyse conventionnelle
    a. Du Canada
    b. De l'Est des États-Unis
    c. De l'Europe
3. Fibre recyclée par pyrolyse à micro-ondes
    a. Du Canada / Québec
4. Fibre de lin
    a. Du Canada / Québec
    b. De la Suisse
5. Fibre de carbone et de polyéthylène à très haut poids moléculaire (UHMwPE)
    a. Caroline du Nord / États-Unis
    b. Chine

Transformation

1. Moulage sous vide par transfert de résine
    a. Par ensachage sous vide (Vaccum bagging)
    b. Par presse électrique
    c. Par presse hydraulique

2. Autre technique

Livraison

    a. Livraison par camion lourd de 40'
    b. Livraison par camion léger à essence

Gestion en fin de vie du produit

1. Transport du produit vers le site de recyclage
    a. Camion lourd (avec conteneur) vers St-Hyacinthe
    b. Camion lourd (avec conteneur) vers Lake City, South Carolina
    c. Camion lourd (avec conteneur) vers Tazewell, TN
2. Méthode de recyclage
    a. Recyclage par pyrolyse de la fibre de carbone

b. Recyclage par pyrolyse de la fibre de lin
c. Recyclage par pyrolyse à micro-ondes
d. Broyage

3. Lieu de recyclage
    a. Canada
    b. États-Unis

Empreintes carbones selon les choix du promoteur de projet

Avant de présenter les différents choix qui s'offrent à BeelivinU, rappelons ce qu'est une tonne d'équivalent CO_2. Il s'agit d'un gaz dont le poids pèse une tonne. Le ballon ci-joint illustre ce qu'est une tonne.

Figure 4 : Représentation d'une tonne de CO_2 équivalent

Choix des matériaux

Le promoteur du projet aura donc des choix à faire qui pourraient influencer l'empreinte carbone de ses produits. Voici un bref rappel des choix possibles, du plus sobre au plus impactant en carbone :

1. **Fibre de lin** : Cette fibre **absorbe** du carbone lors de sa croissance (plutôt que d'en émettre, ce qui est le cas de la fibre de carbone) et demande moins d'énergie à la transformation et au recyclage.
2. **Fibre de carbone recyclée :** Selon la méthode utilisée pour son recyclage en amont, si elle est exigeante en énergie, elle peut avoir une empreinte carbone malgré tout, sauf pour la pyrolyse à micro-ondes qui est très faible en énergie ;
3. **Fibre de carbone vierge issue de la pétrochimie :** Le processus de transformation est énergivore et sa recyclabilité est présentement exigeante en énergie (avec des possibilités d'innovation avec la pyrolyse à micro-ondes);

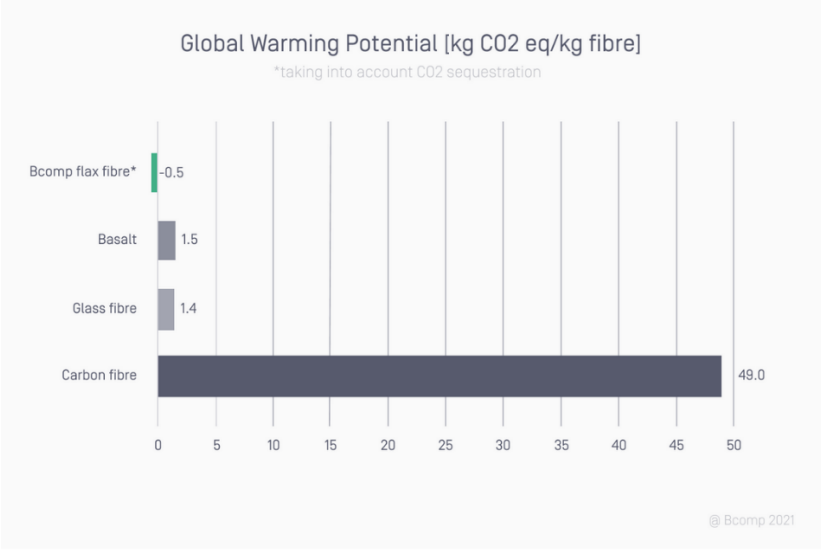

Figure 5 : Potentiel de réchauffement climatique de différents matériaux, selon Bcomp.

Recommandations

Achat de fibre vierge ou recyclée?

Ainsi, dans le but de réduire l'empreinte carbone de la *fabrication* de la fibre de carbone, BeelivinU pourrait explorer la possibilité et la faisabilité de se procurer de la fibre recyclée pour construire ses vélos. Pour ce faire, vous pourriez travailler avec le Groupe CTT qui « soutient la croissance des entreprises de l'**industrie du textile** et des **géosynthétiques** par le biais de services techniques, de recherche et développement et d'expertises en matière d'innovation et d'amélioration de produits, en favorisant le développement durable. » Ce centre de recherche pourra vous aider à tester différents mixtes de matériaux composite grâce à leurs équipements, dont la fileuse à tubes. Ils pourront également tester la recyclabilité du produit par pyrolyse à micro-ondes.

À titre informatif, voyez un modèle de vélo hybride, mi-lin / mi-carbone. BeelivinU pourrait s'en inspirer pour créer son modèle : MF1-MF5 : 50% à 80% de lin.

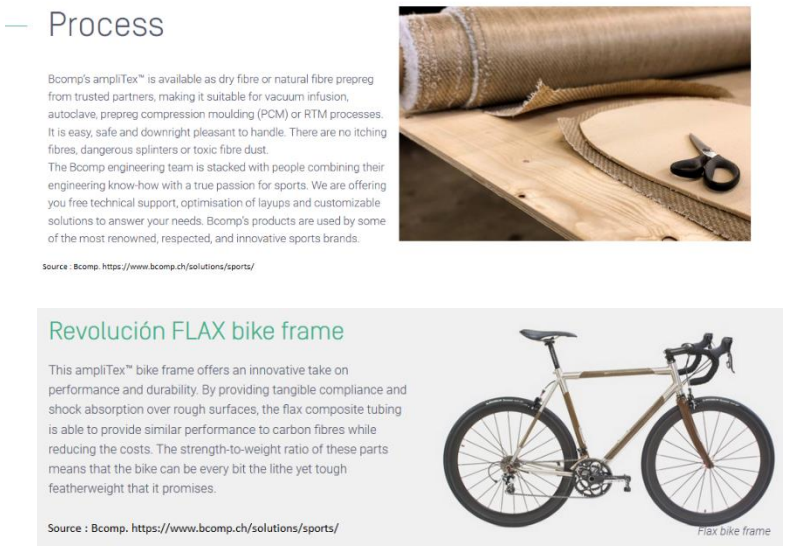

Figure 6 : Ci-haut, un rouleau de fibre de lin préimprégné de Bcomp et ci-bas, un vélo en fibre de lin de Bcomp

Figure 7 : Museeuw MF-1, mi-lin / mi-carbone 1

Figure 8 : Tressage tubulaire en carbone chez Groupe CTT

Figure 9 : Cadre de vélo fait avec la fibre Dyneema with Carbon

Dyneema a également fabriqué son premier vélo avec la fibre Dyneema with Carbon. L'idée de BeelivinU est donc plausible avec cette fibre. L'entreprise invite d'ailleurs des entrepreneurs comme vous à communiquer avec eux. Voir au bas de cette page-ci. Dans un scénario idéal, les bobines de fibre de carbone devront être fabriquées aux États-Unis plutôt qu'au Japon pour en diminuer l'empreinte carbone du produit final.

Provenance des matériaux

Tel que souhaité par BeelivinU, les matériaux et pièces choisis auront avantage à provenir d'un fournisseur du Québec d'abord, du Canada ou de l'Est des États-Unis ensuite, afin de limiter le kilométrage de transports le plus possible. Les produits importés prendront en compte à la fois la distance et le poids de la marchandise. Un produit de l'Europe, selon son poids, peut avoir une empreinte carbone plus élevée qu'une importation de l'Asie d'un matériau plus léger. Voici en ordre croissant, du moins impactant au plus impactant, les lieux de provenance à considérer, tant pour les fibres que pour les époxy et durcisseurs :

1. Fibre de lin d'Innolin, au Québec ;
2. Fibre de carbone recyclée, au Québec, par pyrolyse à micro-ondes ;
3. Fibre de lin de Bcomp en Suisse ;
4. Fibre de carbone vierge de Rayplex en Ontario ;
5. Epoxy et durcisseur de Rayplex en Ontario ;
6. Fibre de carbone vierge Dyneema des États-Unis ;
7. EcoPoxy du Manitoba ;
8. Fibre de carbone vierge Dyneema de la Chine ;
9. Fibre de carbone vierge Bcomp de la Suisse ;

Nous avons découvert un EcoPoxy fabriqué au Manitoba (7.) et distribué par Langevin Forest à Montréal. Une partie des ingrédients provient de végétaux. En utilisant cet époxy, BeelivinU serait cohérent avec son objectif environnemental. Notez que nous n'avons pas trouvé d'où provient l'époxy de Rayplex (5.). S'il vient de loin, il pourrait avoir une empreinte plus élevée que celle d'EcoPoxy.

Choix de la source d'énergie

La fabrication à Montréal, au Québec, permet l'utilisation d'hydroélectricité, une énergie propre et renouvelable, ce qui réduit de beaucoup l'empreinte carbone de la fabrication, comparativement à la production d'électricité avec un combustible fossile.

Offre de réparation

L'offre de réparation des vélos est une excellente façon de prolonger la durée de vie des vélos et de réduire la génération de déchets et incidemment, la production de gaz à effet de serre.

Sans avoir fouillé le sujet en profondeur, nous pouvons supposer que tout transport d'un vélo vers l'usine de Montréal pour son entretien ou sa réparation aura une empreinte carbone due au transport. Ainsi, BeelivinU pourrait imaginer offrir à ses clients les plus éloignés, des alternatives à l'envoi de leur vélo à Montréal. Par exemple, l'entreprise pourrait avoir une entente avec un réparateur local (à Toronto par exemple), ou encore, elle pourrait offrir un mini-kit de réparation avec le vélo, dès le début, avec tutoriel sur la méthode de réparation. Ou encore, elle pourrait faire une tournée annuelle des clients à 500 km à la ronde, pour offrir une mise à niveau. La tournée pourrait se faire en véhicule électrique. Un tel service personnalisé répondrait à un objectif social mentionné par BeelivinU, soit la création d'une communauté.

Gestion du produit en fin de vie

BeelivinU devra choisir à quelle entreprise envoyer ses carcasses de vélos et ses résidus d'usine au recyclage. Tel que constaté précédemment, le recyclage par pyrolyse à micro-ondes, encore au stade de recherche et développement au Groupe CTT, est la voie la plus prometteuse avec une empreinte carbone 5 fois moins élevée que les autres techniques à pyrolyse. De plus, son taux de fibre récupéré est de 99%, ce qui dépasse toutes les autres techniques. Voici donc dans l'ordre croissant, de la meilleure technique à la pire, les options de gestion des vélos en fin de vie :

1. Recyclage par pyrolyse à micro-ondes, au Québec ;
2. Recyclage par pyrolyse conventionnelle de la fibre de lin, le plus près possible ;
3. Recyclage par pyrolyse conventionnelle de la fibre de carbone, le plus près possible ;
4. Tout ce qui précède, mais dans un lieu éloigné (éviter l'envoi sur un autre continent) ;
5. Le broyage, non analysé, servirait de matériaux dans du béton, par exemple, et non à redevenir de la fibre de carbone.

Résultats

Tel que présenté en détail dans *l'Annexe 1 – Chiffrier Excel des calculs*, certains choix s'avèrent meilleurs que d'autres, et certains choix seraient raisonnables. Dans l'onglet « Résultats » du chiffrier, vous trouverez la quantité de tonnes de gaz à effet de serre (GES) générée par chaque étape de production. Ce tableau présente plusieurs choix. Les cases en vert indiquent les meilleurs choix en termes d'émissions de GES. Les cases en jaune indiquent des choix moins performants, mais raisonnables. Les cases en rouge indiquent les pires choix, à éviter.

*****On doit additionner les choix pour obtenir le total en tonne de CO_2 équivalent par 500 m^2 de tissus de fibre de carbone

Puis diviser par 3 pour obtenir les tonnes *par vélo* (avec l'hypothèse qu'il faut 3 m^2 de tissus par vélo)

En résumé, tout ce qui provient de l'Asie est à éviter pour deux raisons : d'abord car leur électricité est produite avec du charbon, le pire combustible fossile et ensuite parce que les produits doivent être transportés par des véhicules émetteurs de GES sur de très longues distances. Le poids du colis compte également dans l'équation. Par exemple, un rouleau de tissus d'un poids supérieur en provenance de la Suisse représente plus de GES qu'un rouleau plus léger en provenance de la Chine.

Sommaire des résultats pour 500 m^2 de fibre de carbone

Légende : Meilleurs choix / Choix alternatifs imparfaits / Pires choix

Étapes	Selon le choix	Résultats Amérique ou Eur. (tonne CO_2 éq. pour 500 m^2)	Résultats pour l'Asie (tonnes CO_2 éq. pour 500 m^2)
1. Fabrication	Fibre **vierge** issue de la pétrochimie	16,80	
	Fibre **recyclée** par pyrolyse	1,06	
	Fibre **recyclée** par pyrolyse à **micro-ondes**	0,01	
	Fibre UHM (Ultra Haut Module) **Carbon with Dyneema**		?
2. Achat de fourniture	**Livraison de la fibre de carbone**		
	Fibre de carbone recyclée du Québec (En cours de développement)	0,001	
	Camion de livraison, aller (Rayplex de l'Ontario)	0,004	
	Camion de livraison, aller (Dyneema des États-Unis)	0,03	
	Avion (Bcomp de la Suisse)	2,23	
	Avion (Dyneema de la Chine)		0,63
	Camion de livraison, du port (Dyneema)	0,0002	
	Livraison de la résine et autre sous-produits de colle		
	Camion de livraison, aller (Rayplex, Ont.)	0,01	
	mion de livraison, aller (EcoPoxy, Manitoba)	0,06	
	Livraison de la fibre de lin		
	Camion de livraison, aller (Innolin, Qc)	0,04	
	Avion aller (Bcomp, Suisse)	2,07	
	Camion de livraison, du port	0,001	

4. Livraison au client	**Vélo entier** en fibre de carbone composite livré par camion lourd	0,016	1,77
	Cadre de vélo en fibre de carbone livré par camion lourd	0,009	0,93
	Vélo entier en fibre de carbone livré par camion léger	0,189	1,77
	Cadre de vélo en fibre de carbone livré par camion léger	0,100	0,93
5. Fin de vie	**Transport vers le centre de recylage**		
	Camion lourd (avec conteneur) vers St-Hyacinthe	0,00	
	Camion lourd (avec conteneur) vers Lake City, South Carolina	0,11	
	Camion lourd (avec conteneur) vers Tazewell, TN	0,13	
	Recyclage		
	*de la fibre de **carbone** (en Angleterre)*	37,8	
	*de la fibre de **lin** (en Angleterre)*	8,4	
	*de la fibre de **carbone par pyrolyse** (au Québec)*	16,7	7372
	*de la fibre de **lin par pyrolyse** (au Québec)*	9,3	4110
	*de la fibre de carbone par **pyrolyse à micro-ondes** (au Québec)*	0,01	
	Recyclage par pyrolyse de la fibre de carbone (en Angleterre)	16,8	
	TOTAL :	*	*

***On doit additionner les choix pour obtenir le total en tonne de CO_2 équivalent par 500 m^2 de tissus de fibre de carbone**

Puis diviser par 3 pour obtenir les tonnes par vélo (avec l'hypothèse qu'il faut 3 m2 de tissus par vélo)

Meilleurs choix

En bref, voici les meilleurs choix pour BeelivinU, selon ces résultats, sans égard à la qualité des produits, lesquels devront faire l'objet de recherche et développement (R&D) et de tests :

Fabrication

L'utilisation de fibre recyclée par pyrolyse à micro-ondes, en provenance du Québec et tissée par BeelivinU, à Montréal, grâce à de l'hydro-électricité, serait la solution la plus économique en GES.

Achat de fournitures

Si l'entreprise se procure des rouleaux de fibre de carbone vierge ou des bobines de fils d'une entreprise tierce, l'achat de cette fibre en Ontario (Rayplex) serait la plus faible en termes de GES.

Quant à l'achat de la résine et du durcisseur, la marque EcoPoxy (produit BioPoxy 36) est disponible chez un distributeur de Montréal (Langevin Forest), mais il provient du Manitoba, à 2246 km de Montréal, ce qui augmente son empreinte carbone si elle est assumée par BeelivinU. Toutefois, sa fabrication étant en partie à base de végétaux, elle a assurément une empreinte carbone plus faible que les époxy conventionnels issus de la pétrochimie. Parallèlement, nous ignorons d'où provient l'époxy de Rayplex, mais cette entreprise de l'Ontario est moins éloignée que celle du Manitoba. Le produit de Rayplex semble conventionnel, sans atout écologique.

Par ailleurs, l'achat de fibre de lin du Québec plutôt que de la Suisse réduirait de beaucoup son empreinte carbone. De plus, BeelivinU contribuerait à développer cette filière de production de fibre de lin toute nouvelle dans le Bas-St-Laurent, au Québec.

Transformation

La transformation par ensachage sous vide, au Québec, ainsi que la presse électrique au Québec sont toutes deux les méthodes de transformation à la moindre empreinte carbone. Toute transformation en Asie est à proscrire car la transformation est intensive en énergie. Il faut ainsi prioriser l'hydroélectricité plutôt que le charbon-électricité.

Livraison

De façon contre-intuitive, la livraison par camion lourd réduit l'empreinte carbone de la livraison par rapport au transport par camion léger, puisque le camion lourd déplace plus de marchandises à la fois, ce qui divise la quantité de GES par le poids de la marchandise par km parcouru. Cela signifie que le camion lourd émet moins par tonnes de GES par marchandise transportée que le camion léger (si le camion lourd est rempli de marchandise). Ainsi, pour les longues distances, le camion lourd est à privilégier, suivi du camion léger pour les derniers kilomètres de la livraison.

Fin de vie du produit

Le mode de transport des vélos usagés vers le lieu de recyclage le moins émetteur de GES est celui en camion lourd.

Le mode de recyclage le plus performant en termes de GES est la pyrolyse à micro-ondes et ce, haut la main. Le centre de recherche est à St-Hyacinthe, or aucune usine n'existe encore pour cette forme de recyclage.

Méthodologie des calculs d'ACC par étape

Afin de pouvoir faire des calculs, nous avons pris comme quantité de base un rouleau de 500 m^2 de fibre tissée mais non imprégnée.

Voici les résultats en bref, disponibles dans l'onglet « Résultats » de l'Annexe 1. Ce tableau sera suivi de la méthodologie.

Fabrication

Il s'agit ici de la fabrication initiale de rouleaux de fibres de carbone ou de bobines de fils chez des manufacturiers spécialisés.

Méthodologie

Ayant déjà en mains les émissions de CO_2 eq, nous avons multiplié les kg CO_2 eq/kg de tissus par le poids de 500 m^2 de tissus. Pour ramener les kg en tonnes, nous avons divisé le total par 1000.

Puisque l'étude scientifique sur laquelle nous nous sommes fiés ne précisait pas la source d'énergie, nous n'avons pas pu évaluer la différence entre la fabrication en Amérique du Nord et celle en Asie.

Calculs

T CO_2 eq = (C x (P x Nbm^2)) * FéH

Où

C = kg CO_2 eq/kg de tissus

P = Poids en kg de fibre/m^2

Nbm^2 = Nombre de m^2 de tissus

T CO_2 eq = tonnes de CO_2 eq par m^2

Données manquantes : Les kg CO_2 eq par kg de Fibre UHM (Ultra Haut Module) de Carbon with Dyneema étant inconnus, nous n'avons pas pu calculer son empreinte carbone. Nous reproduisons toutefois ici une image qui

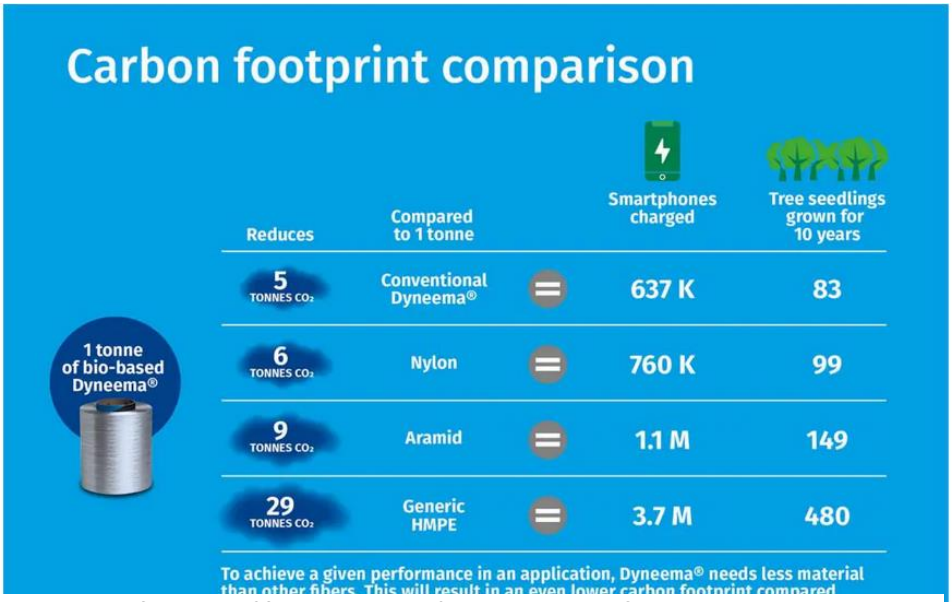

Figure 10 : Réduction d'émissions avec l'utilisation de la fibre bio-based Dyneema par rapport à d'autres types de fibres.

illustre qu'elle a une empreinte carbone beaucoup moindre que d'autres fibres. Attention : la source de cette image est l'entreprise elle-même, ce qui ne garantit pas sa véracité.

Achat des fournitures

Il s'agit ici de l'achat et de la livraison des matériaux vers l'usine de Montréal, en provenance de différents endroits potentiels. Le calcul exclue l'empreinte carbone de la machinerie nécessaire aux opérations.

Méthodologie

Nous avons ramené le poids en kg d'un m^2 de tissus en tonne, multiplié par 500 afin d'obtenir le poids de 500 m^2 de tissus en tonne.

Nous avons ensuite déterminé la distance entre certains fournisseurs et Montréal.

Nous avons trouvé un facteur d'émission pour le transport des marchandises en t.km, c'est-à-dire qui détermine la quantité de kg CO_2 eq attribuable à une marchandise parmi d'autres dans un camion de livraison.

Ainsi, en multipliant le poids en tonne aux kilomètres, multiplié par le facteur d'émission en t.km, nous avons obtenu la quantité de kg CO_2 eq / t.km.

Nous avons ramené cette quantité en tonnes de CO_2 eq.

Calculs

T CO_2 eq = ((((500 x P) / 1000) x NbKm) x FéT) / 1000

Où :

T CO_2 eq = tonnes de CO_2 équivalent pour 500 m^2

P = poids en kg de fibre par m^2

NbKm = Nombre de kilomètres à parcourir

FéT = Facteur d'émissions pour le transport choisi (camion lourd ou avion) en kg CO_2 eq / t.km

Données manquantes

Les kg CO_2 éq / m^2 des produits de Rayplex et Dyneema n'ont pas été trouvés. Nous avons donc utilisé une méthode de calcul reposant sur le poids du produit et son kilométrage pour la livraison (en tonne-kilomètre).

Sans surprise, les fibres de carbone provenant de la Suisse ou de la Chine ont un poids carbone très élevé par rapport aux produits provenant de l'Ontario ou de l'Est des États-Unis.

Nous n'avions pas non plus le poids de la fibre de carbone recyclée provenant du Québec (dans l'éventualité où la pyrolyse à micro-ondes permettrait l'achat de fibre de carbone recyclée au Québec). De façon conservatrice, nous avons utilisé le poids de la fibre vierge Bcomp dans nos calculs.

Pour ce qui est de la résine, nous avons calculé qu'elle présente un poids de 40% de celui de la fibre. La source est une hypothèse qui provient de Benjamin du Haÿs, propriétaire de BeelivinU.

Transformation

Il s'agit ici de transformer les rouleaux de tissus en cadres de vélos, en suivant plusieurs étapes. Cette transformation se fait avec des appareils fonctionnant à l'électricité. Puisque l'usine sera située à Montréal, nous prenons pour acquis que l'électricité proviendra de l'hydroélectricité. À titre comparatif, nous avons évalué les émissions de GES de la consommation de la même quantité d'électricité, mais issue de la combustion du charbon, comme ce serait le cas en Chine.

Méthodologie

Nous avons trouvé la consommation d'énergie de différents appareils nécessaires au moulage, au dégroupage et à la cuisson des pièces. Les unités de mesures étaient en MJ ou en kW / h. Nous avons converti ces unités en GJ/kg de matériaux composites. Puis nous avons fait la conversion en kWh par kg de matériaux composite. Nous avons multiplié le tout par le poids de 500 m^2 de tissus, puis multiplié par le facteur d'émission de l'hydroélectricité ou du charbon. Enfin, afin de ramener les grammes en tonnes, nous avons divisé par 10^6.

Calculs

T CO_2 eq = (((E/1000) x FcGJ) x P) x FéH) /10^6

Ou pour la Chine

T CO_2 eq = (((E/1000) x FcGJ) x P) x FéC) /10^6

Où :

T CO_2 eq = tonnes d'équivalent CO_2

E = énergie en MJ

FcGJ = Facteur de conversion des gigagoules en kilowattheures (GJ en kWh)

P = Poids en g de CO_2 eq pour 500 m^2 de tissus

FéH = Facteur d'émission pour l'hydroélectricité

FéC = Facteur d'émission pour le charbon

Données manquantes

Les données considérées comme ayant un impact nul ou négligeable ont été exclus des calculs.

Livraison

Il s'agit ici de la livraison des cadres ou des vélos entiers, soit par camion lourd ou par camion léger, puisque l'objectif est de les vendre dans un périmètre de 500 km à la ronde de Montréal. À titre comparatif, nous avons également comptabilisé l'empreinte carbone d'un même vélo qui serait livré de la Chine à Montréal (s'il était fabriqué en Chine).

Méthodologie

Nous avons converti le poids en tonne pour un vélo pesant 1,9 kg (ou 1 kg pour le cadre seulement). Nous avons ensuite évalué la distance entre Montréal et le lieu de livraison. Afin d'être conservateur, nous avons choisi la distance de 546 km, soit Toronto. Nous avons également évalué le trajet Beijing-Montréal en avion pour une distance de 10 468 km. Nous avons ensuite multiplié le tout par le facteur d'émission de la livraison par tonne-kilomètre afin de tenir compte du fait que le vélo est un produit parmi tant d'autres dans le camion

de livraison ou dans l'avion. Deux types de camions de livraison ont été évalués, soit le camion lourd de 40' carburant au « gazole routier » et un véhicule léger carburant à l'essence. Les grammes en résultant ont été divisés par 1 000 000 pour obtenir les tonnes de CO_2 équivalent, puis multipliés par 166, soit le nombre de vélos fabriqués à partir de 500 m^2 de fibre de carbone (3 m^2 par vélo).

Calculs

T CO_2 eq = (((((Pv ou Pc)/1000) x NbKm) x FéT) /1 000 000) x 166

Où :

T CO_2 eq = tonnes d'équivalent CO_2

Pv = Poids du *vélo* en kg

Pc = Poids du *cadre* en kg

NbKm = Nombre de kilomètres à parcourir

FéT = Facteur d'émissions pour le transport choisi (camion lourd ou léger) en kg CO_2 eq / t.km

Données manquantes

Aucune.

Fin de vie

Il s'agit pour le producteur BeelivinU d'assumer la fin de vie du produit en s'assurant qu'il sera recyclé ou valorisé plutôt qu'enfoui dans un site d'enfouissement. De plus en plus de solutions sont développées afin de séparer la fibre de la résine, permettant de remettre dans la bouche une fibre de qualité suffisante pour plusieurs applications. La résine peut elle aussi être recyclée en des centaines de composés chimiques.

Une chose est certaine, cette étape du cycle de vie du produit peut être une grande émettrice de GES, sauf pour la pyrolyse à micro-ondes.

Méthodologie

Nous avons identifié trois lieux possibles de recyclage, soit au Québec, en Caroline du Sud (USA) ou au Tennessee (USA). Les kilomètres pour envoyer les carcasses vers ces lieux ont été évalués avec GoogleMap.

Nous avons ensuite identifié différentes techniques de recyclage, dont la pyrolyse et le broyage. Le broyage n'a pas été approfondi ici. Pour la pyrolyse, nous avons trouvé des données pour le recyclage de la fibre de **carbone** et d'autres pour la fibre de **lin**. Or, les données varient beaucoup d'une étude à l'autre. Ainsi, nous avons obtenu des évaluations très variables.

Pour le transport vers le lieu de recyclage, nous avons multiplié le poids de 500 m2 de composite par le nombre de kilomètres, multiplié par le facteur d'émission de trois modes de transports différents, en tenant compte des tonnes par kilomètre.

Pour le recyclage, deux types de données étaient disponibles. Celles en kg CO2 eq ont simplement été multipliées par le poids des 500 m^2 de tissus. Pour les données en énergie, nous avons converti en kWh les données de consommation d'énergie des appareils à pyrolyse identifiés en watts, kW ou MJ. Ensuite, nous avons converti les unités d'énergie en kWh. Puis nous avons multiplié ces kWh par le poids en kg de 500 m^2 de tissus. Le tout a été multiplié par un facteur d'émission (soit de l'hydroélectricité, soit du gaz naturel ou du

charbon) afin de connaître la quantité d'émissions en g CO_2 eq / kWh. Enfin, le résultat en grammes a été divisé par 1 000 000 pour le convertir en tonnes de CO_2 équivalent.

Calculs du **transport** des carcasses de vélos vert le site de recyclage

T CO_2 eq = (((((Pv ou Pc)/1000) x NbKm) x FéT) /10^6)

Où :

T CO_2 eq = tonnes d'équivalent CO_2

Pv = Poids du *vélo* en kg

Pc = Poids du *cadre* en kg

NbKm = Nombre de kilomètres à parcourir

FéT = Facteur d'émissions pour le transport choisi (camion lourd ou léger) en kg CO_2 eq / t.km

Calculs de la méthode de **recyclage**

T CO_2 eq = (((Fc kWh/GJ)*P) x Fé)/10^6

Où :

T CO_2 eq = tonnes d'équivalent CO_2

Fc kWh/GJ = Facteur de conversion en kWh par GJ d'énergie

P = Poids en kg de 500 m^2 de tissus

Fé = Facteur d'émission en g CO_2 eq / kWh ou par m^3

Données manquantes

Aucune.

Matériaux alternatifs

Lin

Tel que précité, le lin est une fibre naturelle qui séquestre du carbone lors de sa croissance. Ses propriétés font en sorte qu'elle rivalise avec la fibre de carbone. Trouver dans quelle proportion elle peut être utilisée, avec ou sans fibre de carbone, amènerait BeelivinU à se distinguer de ses compétiteurs, puisque cette proportion aura un impact direct sur l'empreinte carbone du produit.

Le lin du Québec est à privilégier, pour des raisons de transports, par rapport au lin suisse. Nous vous recommandons de communiquer avec Innolin dans le Bas-St-Laurent. Leurs coordonnées sont dans l'annexe 1, onglet 2. Achat de fournitures, case G80.

Bambou

En cours de recherche, nous avons vu que des vélos en bambou pouvaient remplir plusieurs critères recherchés par les pros du vélo performant. Le poids est probablement légèrement plus lourd que celui des vélos en fibre de carbone haute performance, mais son empreinte carbone est infiniment plus basse que le vélo en fibre de carbone.

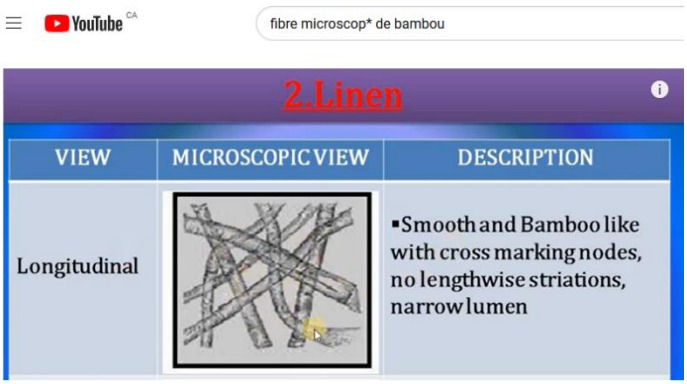

Figure 9 : Vue microscopique d'une fibre de lin

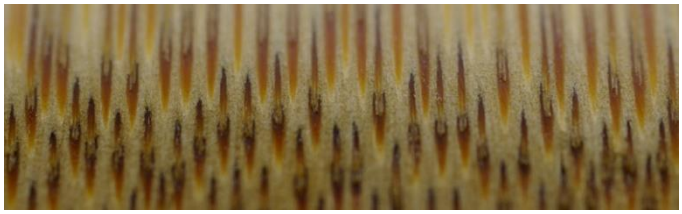

Figure 11 : Fibre de bambou

Pourquoi ? Car la nature se charge de tisser les fibres de carbone dans le bambou. Aucune usine ni source d'énergie ne sont nécessaires, puisque le soleil et la photosynthèse se chargent de fabriquer le matériau. Par ailleurs, le bambou séquestre du carbone plutôt que d'en émettre. Cette plante pousse rapidement, sans besoin de pesticides. De plus, le bambou absorbe bien les vibrations et est plus léger que le métal. Il est réparable avec de la résine et est compostable en fin de vie. Enfin, il coûte beaucoup moins cher à produire. Sa seule empreinte carbone est relative au transport, mais puisque c'est un matériau léger et que des centaines de vélos pourraient être construits grâce au contenu d'un seul conteneur livré (transport), son empreinte resterait moindre.

Nous recommandons ainsi à BeelivinU de mener de la recherche et développement sur des vélos en bambou lorsque l'entreprise sera prête à offrir un vélo « grand public ». Plusieurs centaines d'espèces de bambou existent, certaines plus pertinentes que d'autres pour les vélos.

Voici des sites web où vous inspirer :

- Are Bamboo Bikes Actually Any Good? - YouTube
- Build Your Own Bamboo Bike - Custom Bamboo Bicycle – Bamboobee
- Environmental and social life cycle assessment of bamboo bicycle frames made in Ghana – ScienceDirect
- Sustainability – Bamboo Bicycle Club
- The Urban One Bamboo Flax Bike
- American Bamboo Society
- 12 meilleurs vélos en bamboo et bois 2023

Réflexion sur les outils nécessaires à la transformation

Nos recherches ont permis de réaliser que la fabrication de vélos en **fibre de carbone** nécessite une grande quantité de machines, lesquelles ont leur propre empreinte carbone et consomment beaucoup d'énergie. De plus, plusieurs étapes doivent être franchies pour concevoir les cadres, et une main d'œuvre spécialisée est nécessaire.

En contrepartie, l'utilisation de tiges de **bambou**, par exemple, ne requiert qu'un simple atelier d'ébénisterie, avec peu d'outils, pour monter des vélos. Ce constat n'est pas le même si la fibre de bambou est transformée. Ainsi, d'un point de vue global, en tenant compte des moyens nécessaires à la transformation, les tiges de bambou l'emporteraient haut la main d'un point de vue « empreinte carbone ».

Par ailleurs, l'utilisation de **fibres de lin**, sous forme de rouleau ou de bobines, nécessite probablement le même équipement que pour la transformation de la fibre de carbone.

Lois et règlements

Nos recherches dans la législation québécoise nous démontrent que l'usine de fabrication de vélos en fibre de carbone devra porter une attention particulière à la **gestion de ses matières résiduelles (GMR)**, soit des retailles de tissus de fibre de carbone et de lin, des restes de bobines de fils de carbone et de lin, des cadres retournés par ses clients, etc.

Certains **produits dangereux** pourraient devoir être gérés conformément au *Règlement sur les matières dangereuses*, mais l'avis d'un chimiste sera nécessaire lorsque l'entreprise aura statué sur les produits qui entreront dans le processus de fabrication (époxy, durcisseur, laque, vernis, etc.).

Il est également possible qu'il y ait de la **gestion de poussières**, selon les choix et procédés qu'aura choisi l'entreprise. Cette gestion de la poussière concerne davantage la *santé et sécurité au travail*, mais peut aussi concerner l'environnement si un ventilateur rejette de l'air à l'extérieur.

L'eau ne semble pas être utilisée en grandes quantités, ce qui allège les obligations environnementales de l'entreprise, à moins que cet élément nous ait échappé.

L'énergie sera de l'hydroélectricité, une énergie propre qui ne génère aucun gaz nuisible aux humains et à l'environnement. Il n'y a ainsi pas de règles spéciales auxquelles doit se soumettre BeelivinU à cet égard.

Voyez à **l'Annexe 2** les articles de loi et règlement qui, croyons-nous, doivent être portés à l'attention du porteur de projet.

Recommandations pour les suites du projet

Grâce à la présente analyse, l'entreprise BeelivinU pourra choisir avec quels matériaux elle fera de la recherche et développement. Nous recommandons à l'entreprise de travailler avec le Groupe CCT de St-Hyacinthe afin de tester différents amalgames (ex : proportion de fibre de lin et de fibre de carbone) et différentes résines.

L'entreprise effectuera parallèlement une étude de marché afin de s'assurer de la viabilité économique et sociale d'un tel projet et de ses visées à court, moyen et long terme.

Lorsque le prototype le plus satisfaisant aux yeux du promoteur de projet sera conçu, un expert en environnement pourra entamer un document de projet qui s'inspirera de la norme ISO-14064-2. Cette analyse comparera deux vélos : celui fabriqué selon le cours normal des affaires, et celui que fabriquera BeelivinU. Ainsi, l'entreprise pourra démontrer à quel point son produit est plus écoresponsable que ceux de ses

compétiteurs. Aujourd'hui, cette étude ne peut pas être faite, car l'entreprise n'a pas encore décidé si elle choisira de la fibre de carbone recyclée ou non comme matériau de base, si elle inclura ou non de la fibre de lin, si elle choisira de l'EcoPoxy ou de l'époxy conventionnel, quel service de réparation sera offert à ses clients et quel recycleur elle choisira.

Références

Das, S., Warren, J., West, D., & Schexnayder, S. (2016, May). Global Carbon Fiber Composites Supply Chain Competitiveness Analysis. *Technical Report ORNL/SR-2016/100 | NREL/TP-6A50-66071*. https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66071.pdf

Dega, C. (2021). Recyclage des plastiques renforcés de fibres de carbone par pyrolyse micro-ondes. In G. CCT (Ed.). Conférence Salon CAMX. https://gcttg.com/2021/10/20/recyclage-fibres-carbone/

Dega, C., Boukhili, R., Leger, K., Laviolette, J.-P., & Jadidinia, A. (2021, octobre). Recycling of carbon fiber reinforced plastics by microwave pyrolysis.

He Liu, Xiaogang Zhang, Long Quan, & Hongjuan Zhang. (2021, January). Research on energy consumption of injection molging machine driven by five different types of electro-hydraulic power units. *Journal of Cleaner Production, 242*. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619332251

Kawajiri, K., & Kobayashi, M. (2022, December 10). Cradle-to-Gate life cycle assessment of recycling processes for carbon fibers: A case study of ex-ante life cycle assessment for commercially feasible pyrolysis and solvolysis approaches. *Journal of Cleaner Production, 378*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134581

Margarida , C., & Diogo , A. (2015, July 14-16). Cycling mobility – a life cycle assessment based approach. *ScienceDirect. Transportation Research Procedia 10*, pp. 443 – 451. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146515002811

Oliveira Nunes, A., & al. (2015). Composites renforcés à fibres de carbone : récupération des fibres par vapo-thermolyse, optimisation du procédé. https://uqam-bib.on.worldcat.org/oclc/992802600

Papon, R., Danesh, M., & Tasneem, Z. (2019, June 10). Environmental impacts of bicycle production in Bangladesh:. *Springer Nature Switzerland Applied Sciences*. doi:https://doi.org/10.1007/s42452-019-0721-z

Pinglai, X., Juan, L., & Jiangping, D. (2013, June 18). Chemical recycling of carbon fibre/epoxy composites in a mixed solution of peroxide hydrogen and N,N-dimethylformamide. *Composites Science and Technology, 82*, pp. 54-59. doi:https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2013.04.002

Ramachandran, K., Gnanasagaran, C., & Vekariya, A. (2023). Life cycle assessment of carbon fiber and bio-fiber composites prepared via vacuum bagging technique. *Journal of Manufacturing Processes*(124–131). https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1526612523000944

Thiriez, A., & Gutowski, T. (2006). An Environmental Analysis of Injection Molding. *Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*. https://ieeexplore.ieee.org/document/1650060

Annexe 1 – Chiffrier Excel des calculs

Un chiffrier Excel nommé « BeelivinU-ACC » présente les calculs effectués à partir d'informations retrouvées dans des études scientifiques.

Des adresses de fournisseurs et autres informations pertinentes s'y retrouvent également.

Annexe 2 – Lois et règlements à respecter

	Lois et règlements à respecter		
Chapitre Q-2	**Loi sur la qualité de l'environnement**		
Articles	**Obligations**	**Obligations**	**Notes**
20	Nul ne peut rejeter un contaminant dans l'environnement ou permettre un tel rejet au-delà de la quantité ou de la concentration déterminée conformément à la présente loi. La même prohibition s'applique au rejet de tout contaminant dont la présence dans l'environnement est prohibée par règlement ou est susceptible de porter atteinte à la vie, à la santé, à la sécurité, au bien-être ou au confort de l'être humain, de causer du dommage ou de porter autrement préjudice à la qualité de l'environnement, aux écosystèmes, aux espèces vivantes ou aux biens.	Principe général qui s'applique à tous.	
21	Quiconque est responsable d'un rejet accidentel, dans l'environnement, d'un contaminant visé à l'article 20 ou d'une matière dangereuse doit, sans délai, en aviser le ministre. Ce responsable **doit** également, **sans délai**: 1° faire cesser le rejet; 2° dans le cas d'un rejet d'un contaminant, récupérer, nettoyer ou traiter sur place les matières contaminées par le rejet ou, si cela ne peut être effectué, enlever les matières contaminées de la zone affectée par le rejet et les expédier vers un lieu autorisé; 3° dans le cas d'un rejet de matières dangereuses, gérer les matières contaminées par le rejet conformément aux articles 70.5.1 à 70.5.5.	En cas d'accident, très important	

22	Sous réserve des sous-sections 2 et 3, nul n**e peut, sans obtenir au préalable une autorisation** du ministre, réaliser un projet comportant l'une ou plusieurs des activités suivantes: 1° **l'exploitation d'un établissement industriel** visé à la section III, dans la mesure qui y est prévue; .. 5° la gestion de matières dangereuses, dans la mesure prévue à la sous-section 4 de la section VII.1; ... Est également soumise à une autorisation préalable du ministre la réalisation d'un projet comportant une autre activité susceptible d'entraîner un rejet de contaminants dans l'environnement ou une modification de la qualité de l'environnement, dont les activités suivantes: 1° la construction d'un établissement industriel; 2° l'exploitation d'un établissement industriel autre que ceux visés au paragraphe 1° du premier alinéa; 3° l'utilisation d'un procédé industriel; 4° l'augmentation de la production d'un bien ou d'un service.	Obtention d'une autorisation ministérielle auprès du MDDELCCFP. Infos à fournir aux articles 23 à 24	L'autorisation est renouvelable aux 5 ans.
53.3	Les dispositions de la présente section ont pour objet: 1° de **prévenir ou réduire la production de matières résiduelles**, notamment en agissant sur la fabrication, la mise en marché et les autres types de distribution des produits; 2° de **promouvoir la récupération et la valorisation** des matières résiduelles; 3° de r**éduire la quantité de matières résiduelles à éliminer** et d'assurer une gestion sécuritaire des installations d'élimination; 4° d'**obliger la prise en compte par les fabricants et importateurs de produits** des effets qu'ont ces produits sur l'environnement et des coûts afférents à la récupération, à la valorisation et à l'élimination des matières résiduelles générées par ces produits.		Le choix des matériaux (écoconception), la réparation et le traitement en fin de vie du produit doivent être pris en compte par le fabricant afin de réduire l'enfouissement

53.4.1	La politique visée à l'article 53.4 ainsi que tout plan ou programme élaboré par la Société québécoise de récupération et de recyclage dans le domaine de la gestion des matières résiduelles doivent prioriser la réduction à la source et respecter, dans le traitement de ces matières, l'ordre de priorité suivant: 1° **le réemploi;** **2° le recyclage, y compris par traitement biologique ou épandage sur le sol;** **3° toute autre opération de valorisation par laquelle des matières résiduelles sont traitées pour être utilisées comme substitut à des matières premières;** **4° la valorisation énergétique;** **5° l'élimination**. ...		Ordre de priorités, lors d'un bris ou en fin de vie du produit
53.29	**Nul ne peut**, dans le cadre d'une opération commerciale, offrir en vente, vendre, distribuer ou autrement mettre à la disposition des utilisateurs: 1° **des contenants, des emballages, des matériaux d'emballages, des imprimés ou d'autres produits qui ne satisfont pas aux normes réglementaires prescrites en application de l'article 53.28**; 2° **des produits qui sont dans des contenants ou des emballages non conformes** aux normes réglementaires susmentionnées.		À prendre en compte pour l'emballage si le vélo est livré par la poste.

53.30	Le gouvernement peut, par règlement, régir sur tout ou partie du territoire du Québec la récupération et la valorisation des matières résiduelles. Ces règlements peuvent notamment: … **6°** obliger toute personne, en particulier une personne exploitant un établissement à caractère industriel ou commercial, qui fabrique, met sur le marché ou distribue autrement des contenants, des emballages, des matériaux d'emballage, des imprimés ou d'autres produits, **qui commercialise des produits dans des contenants ou emballages qu'elle s'est procurés à cette fin** ou, plus généralement, qui génère des matières résiduelles par ses activités: ... **c) à tenir des registres** et fournir au ministre ou à la Société, aux conditions et selon les modalités fixées, des informations sur la **quantité et la composition** de ces contenants, **emballages**, matériaux d'emballage, imprimés ou **autres produits**, **sur les matières résiduelles générées par leurs activités** ainsi que sur les **résultats obtenus en matière de réduction, de récupération ou de valorisation**;	Oui. Tenue d'un registre.	À prendre en compte pour l'emballage si le vélo est livré par la poste.

53.31	Toute personne doit, dans les conditions fixées par le ministre, lui fournir ou fournir, le cas échéant, à la Société québécoise de récupération et de recyclage aux fins des responsabilités qui lui sont confiées en vertu de la présente loi, les renseignements qu'il demande concernant l'origine, la nature, les caractéristiques, les quantités et la destination: 1° des produits, parmi ceux qui sont visés au paragraphe 6° du premier alinéa de l'article 53.30, qu'elle fabrique, met sur le marché ou distribue autrement; 2° des matières résiduelles générées par les produits visés au paragraphe 1°; 3° des matières résiduelles qu'elle génère par ses activités, remet à un tiers ou prend en charge. S'ajoutent aux renseignements qui peuvent être demandés en application du premier alinéa, ceux concernant les modalités de récupération ou de valorisation des matières résiduelles visées aux paragraphes 2° et 3° de cet alinéa ainsi que les coûts générés par leur récupération ou leur valorisation.	Oui. Tenue d'un registre.	
53.31.1	Les personnes visées au paragraphe 6° du premier alinéa de l'article 53.30 sont tenues, dans le cadre et aux conditions prévues dans la présente sous-section, de **payer une compensation aux municipalités** pour les services que celles-ci fournissent en vue d'assurer la récupération et la valorisation des matières désignées par le gouvernement en vertu de l'article 53.31.2.	Payer une compensation aux municipalités pour la récupération et valorisation des MR	
70.5	Quiconque a en sa possession une matière dangereuse doit fournir au ministre, dans le délai qu'il fixe, tout renseignement ou document qu'il demande concernant cette matière dangereuse.		Les résines d'époxy et les durcisseurs sont des matières dangereuses des catégories B09, B11, B13 et M06, selon l'annexe 4 du r. 32 ci-bas.
70.5.1 à 70.7	En cas de manipulation de produits dangereux, en cas d'incident ou de contamination d'un terrain, lire ces articles de la LQE Q-2	Oui. Tenue d'un registre.	

70.8	**La possession d'une matière dangereuse résiduelle pour une période de plus de 24 mois** est soumise à l'obtention d'une autorisation du ministre conformément au paragraphe 5° du premier alinéa de l'article 22. En outre des renseignements et documents exigés en vertu de l'article 23, la demande d'autorisation doit être accompagnée d'un plan de gestion des matières dangereuses préparé conformément au règlement du gouvernement. Le plan de gestion doit contenir une attestation de l'exactitude des renseignements donnés et la signature de celui qui a la possession des matières dangereuses ou, s'il s'agit d'une personne autre qu'une personne physique, d'une personne autorisée à cette fin	Autorisation du ministre de l'env. si en possession de mat. Dang. Résiduelles pendant plus de 24 mois.	
chapitre Q-2, r. 32	**Règlement sur les matières dangereuses**		
Articles	**Obligations**	**Obligations**	**Notes**
2	**Ne constituent pas** des matières dangereuses: … 19° les résidus provenant du déchiquetage des carcasses de véhicules automobiles;		Probablement applicable aux carcasses de vélos en fibre de carbone

Références	Catégories		Notes
Annexe 3 Secteurs d'activité	Grands groupes 32 (industrie du matériel de transport) et 45 (transport, sauf services de limousines aux aéroports et gares, taxis et autres transports)		
Annexe 4, section 1, CATÉGORIES DE MATIÈRES DANGEREUSE	B09 Boues et résidus de la formulation et de l'utilisation d'encre, de peinture, de colorants, de **laques et vernis**		
	B11 Boues et résidus de la formulation et de l'utilisation de résidus, latex plastifiants, **colles**, adhésifs et **polymères**		
	E13 Solides, **poussières** ou boues générés par les systèmes d'épuration d'air		
	M06 **Résines** échangeuses d'ions hors d'usage		L'époxy fait-il partie de ces résines?
	O02 Matières non dangereuses		
Annexe 8 (a. 109), SECTEURS D'ACTIVITÉS VISÉS PAR L'OBLIGATION DE PRODUIRE UN BILAN ANNUEL DE GESTION	**Activité économique**	**Code d'activité**	**Nb employés min.**
	Ateliers d'usinage	3081	20
	Industrie du matériel de transport	Grand groupe 32	50
Annexe 9 (a. 110, 131, 135 et 136) MODES DE GESTION DES MATIÈRES DANGEREUSES	Relativement au Traitement à des fins de recyclage ou de réemploi :		
	R05 : Récupération de matières inorganiques, autres que des métaux ou des composés métalliques		
	R14 : Autre récupération ou régénération d'une substance ou autre emploi ou réemploi de matières dangereuses		