



**Arts** Sciences et  
Technologies  
**et Métiers**

# PJE ECOBIKE

**S2 – 2024**

**Clara VIDREQUIN**

**Jacques FOUGEROUSE**

**Marin de FLAUJAC**

**Vincent LE GUEN**

# Table des matières

<b>I. Introduction</b> .....	3
1. Un ACV c'est quoi ? .....	3
2. Quelle est l'utilité de faire un ACV .....	3
3. Présentation du produit « Ecobike » .....	4
a. Enjeux de la mobilité bas-carbone .....	4
b. Présentation du produit « ECOBIKE ».....	4
<b>II. Problématique et état de l'art</b> .....	5
1. Problématique.....	5
2. Objectifs et résultats attendu .....	5
3. Organisation initiale .....	5
4. Retour critique sur l'organisation .....	6
<b>III. Démarche de l'ACV</b> .....	7
1. Priorisation .....	7
2. Résultats effectués sur l'outil « Base Empreinte » de l'ADEME.....	7
3. ACV des composants complexes effectuée en dehors de « Base Empreinte ».....	7
a. Batterie Valeo .....	7
b. Panneau solaire .....	9
c. Valeo Cyclee – Moteur + boîte de vitesse .....	12
d. Panneaux Kairlin .....	13
e. Bamboo composite side wall.....	15
f. Central beam .....	15
<b>IV. Résultats</b> .....	17
g. Résultats des composants mis sur Base Empreinte .....	17
h. Résultats Pièces complexes hors ADEME .....	18
i. Bilan Global .....	19
<b>V. Regard critique de l'ACV</b> .....	20
1. Panneau solaire.....	20
2. Comparaison à un camion de livraison électrique :.....	20
<b>VI. Conclusion et perspectives</b> .....	22
<b>VII. Bibliographie</b> .....	23
<b>VIII. Annexe</b> .....	24

# I. Introduction

## 1. Un ACV c'est quoi ?

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une méthodologie scientifique utilisée pour évaluer les impacts environnementaux associés à toutes les étapes de la vie d'un produit, d'un processus ou d'un service. Cette analyse prend en compte l'ensemble du cycle de vie, de l'extraction des matières premières jusqu'à la gestion des déchets en passant par la fabrication, la distribution, l'utilisation et la fin de vie. Le but principal de l'ACV est de fournir une vision complète et systématique des flux de matière et d'énergie ainsi que des impacts environnementaux associés, permettant ainsi de prendre des décisions éclairées pour réduire ces impacts.

## 2. Quelle est l'utilité de faire un ACV

L'ACV est un outil essentiel pour les entreprises, les décideurs et les chercheurs qui souhaitent comprendre et minimiser les impacts environnementaux de leurs produits ou services. Son utilité se manifeste à plusieurs niveaux :

**Amélioration de la performance environnementale** : En identifiant les étapes du cycle de vie les plus impactantes, les entreprises peuvent cibler leurs efforts de réduction des émissions et de consommation de ressources, améliorant ainsi leur performance environnementale globale.

**Prise de décision éclairée** : Les résultats d'une ACV fournissent des informations cruciales pour le développement de produits plus durables, la sélection de matériaux et de technologies, ainsi que pour la planification stratégique et la gestion des risques environnementaux.

**Communication et transparence** : Réaliser une ACV permet aux entreprises de démontrer leur engagement envers le développement durable et de communiquer de manière transparente sur les impacts environnementaux de leurs produits auprès des consommateurs, des régulateurs et des autres parties prenantes.

**Conformité réglementaire** : De plus en plus de réglementations exigent des preuves d'une gestion proactive des impacts environnementaux. L'ACV peut aider à répondre à ces exigences légales et normatives en fournissant une documentation rigoureuse et validée scientifiquement.

**Innovation et compétitivité** : En intégrant l'ACV dans le processus de conception, les entreprises peuvent découvrir des opportunités d'innovation, de nouveaux marchés et des avantages compétitifs en développant des produits éco-conçus et en optimisant leurs processus.

### 3. Présentation du produit « Ecobike »

#### a. Enjeux de la mobilité bas-carbone

L'industrie des transports est à la recherche d'une solution pour le transport urbain personnel, qui pourrait réduire considérablement les coûts d'exploitation ainsi que l'empreinte carbone.

#### b. Présentation du produit « ECOBIKE »



Figure 1 : L'ECOBIKE en image

ECOBIKE est une solution proposée pour compléter le système de transport urbain moderne. Il est un moyen de transport accessible simple, écologique et efficace. Il profitera de l'infrastructure cyclable existante, et offrira à ses utilisateurs un niveau de protection et de confort optimale.

De plus, ce projet est développé à travers l'écoconception. Cependant, les ingénieurs font face à plusieurs défis technologiques qui sont de développer les procédés pour les nouveaux matériaux de construction et optimiser l'utilisation de l'énergie musculaire. Pour cela, l'ECOBIKE a été imaginé comme un véhicule urbain léger, avec un système d'énergie/propulsion multi sources, incluant la puissance musculaire des cyclistes. De plus, de nouveaux matériaux structuraux biosourcés seront utilisés pour la fabrication ainsi qu'une approche à faibles émissions sur tout le cycle de vie sera utilisée. Les bénéfices et atouts de l'ECOBIKE seront qu'il aura une empreinte carbone faible, il sera accessible à tous car le permis de conduire ne sera pas requis afin de s'en servir et c'est un produit polyvalent et modulable suivant son besoin.



Figure 2 : Niveau de maturité technologique

## II. Problématique et état de l'art

### 1. Problématique

**Réaliser une Analyse de cycle de vie (ACV) sur le projet ECOBIKE.**

Nous devons faire attention à bien considérer les phases de fabrication, distribution, utilisation et de fin de vie. Nous utiliserons la base de l'ADEME afin de réaliser l'ACV.

### 2. Objectifs et résultats attendu

L'objectif premier est d'évaluer les émissions de CO2 de notre produit sur l'ensemble de son cycle de vie. Néanmoins, on parle beaucoup d'émissions de CO2 afin d'être plus écologique et réduire notre impact sur le réchauffement climatique. Seulement, il y a d'autres indicateurs à prendre en compte afin de réaliser un produit qui respecte l'environnement. Voici, ci-dessous, l'ensemble des résultats attendus à la suite de notre ACV.

Climate change	Eutrophication, terrestrial
Ozone depletion	Eutrophication, freshwater
Human toxicity, cancer effects	Eutrophication, marine
Human toxicity, non-cancer effects	Ecotoxicity freshwater
Particulate matter	Land use
Ionizing radiation, human health	Water use
Photochemical ozone formation, human health	Resource use, minerals and metals
Acidification	Resource use, fossils

*Figure 3 : Résultats attendus dans l'ACV*

A la suite de l'ACV, des propositions d'optimisation du projet devront être proposées afin de le rendre encore plus respectueux de l'environnement qu'il ne l'est déjà.

### 3. Organisation initiale

Pour réaliser ce projet, nous étions donc une équipe de quatre et disposions de plusieurs séances dédiées. Nous avons défini des objectifs et des jalons à atteindre progressivement que nous avons regroupés dans le GANTT ci-dessous.

Tâches	21/03/2024	26/03/2024	02/04/2024	09/04/2024	16/04/2024	23/04/2024	30/04/2024	07/05/2024	14/05/2024	21/05/2024	28/05/2024	04/06/2024	11/06/2024	17/06/2024
Découverte du sujet & prise en main du logiciel Empreinte Carbone	Présentation Akkodis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Recherche / Collecte de données sur les composants														
Remplissage des données sur Empreinte Carbone - Fabrication														
Remplissage des données sur Empreinte Carbone - Distribution														
Remplissage des données sur Empreinte Carbone - Utilisation														
ACV des composants de priorité														
Remplissage des données sur Empreinte Carbone - Fin de vie														
Interprétation des résultats de l'ACV														
Recherche de pistes d'amélioration														
Rédaction du rapport														
Soutenance														

Figure 4 : GANTT du projet

En plus de ce GANTT, nous avons réparti équitablement les 106 pièces de la nomenclature entre les quatre membres de l'équipe pour aller plus vite dans les recherches.

#### 4. Retour critique sur l'organisation

Maintenant que le projet est arrivé à son terme, nous sommes satisfaits de notre organisation et fonctionnement en tant qu'équipe, due surtout à une communication claire et constante. Les réunions hebdomadaires avec M. KOSTIUK furent également d'une grande aide pour s'assurer que notre démarche corresponde bien aux attendus, et pour avoir son avis d'expert du produit.

Cependant, de nombreuses séances (marquées en rouge sur le GANTT dans l'image 4) n'étaient pas dédiées au PJE mais à d'autres cours. Nous avons donc dû faire des hypothèses pour progresser plus vite dans le temps imparti et en dehors de nos heures de cours. Un autre point à retenir est notre approche d'organisation agile. En nous redistribuant les pièces complexes au cours du projet, nous avons pu être plus efficaces et répartir plus équitablement les recherches en accord avec ce nouveau critère de complexité.

## III. Démarche de l'ACV

### 1. Priorisation

Le vélo étant composé d'un nombre important de pièces, 106 pièces, nous avons priorisé les pièces ayant un poids significatif et une composition assez complexe comme la batterie ou encore le panneau solaire. Cette priorisation nous a permis d'établir les pièces pouvant avoir le plus d'impact sur l'ACV du vélo ECOBIKE.

### 2. ACV sur l'outil « Base Empreinte » de l'ADEME

La Base Empreinte de l'ADEME a été utilisée pour effectuer l'analyse de cycle de vie du vélo. Cet outil permet de réaliser une première approche mais il présente certaines limites au niveau des matériaux ou des procédés de mise en forme proposés. C'est pourquoi une partie des pièces a pu être analysée sur cet outil et l'analyse de cycle de vie des pièces plus complexes a été réalisée par nous-même.

Le vélo ECOBIKE est conçu pour une utilisation journalière (2 recharges de batterie/jour) sur une durée de 20 ans. Il faudra également prendre en compte le changement de pièces d'usures telles que la batterie, les pneus, etc.

Pour chaque pièce, les données suivantes ont été renseignées dans l'ADEME : composants (matériaux), procédés de mise en forme, les transports, l'utilisation du vélo en termes de quantité d'électricité utilisé lors des 2 recharges journalières.

Les résultats de cette étude sont présentés dans la partie IV.

### 3. ACV des composants complexes effectuée en dehors de « Base Empreinte »

#### a. Batterie Valeo

La batterie Valeo utilisée pour ce projet EcoBike est une batterie au lithium-Ion pesant au total 5,1 kilos. Comme cette pièce est complexe comparée aux autres composants de la partie précédente, nous avons décidé de calculer ses émissions à part. De plus, il était important de calculer sa consommation en kWh/produit utilisé avec le mix énergétique français pour remplir la partie 3 « Utilisation du produit » de l'ACV sur Base Empreinte.

Pour ce faire, nous avons émis l'hypothèse qu'on avait une consommation des batteries 3 fois par jour (par exemple 3x6h), soit 2 batteries à charger tous les jours. En effet, la conception de l'EcoBike permet d'avoir des batteries amovibles interchangeables.

Selon la législation française en vigueur concernant les vélos électriques, la puissance permise est limitée à 250 W avec une vitesse limite de 25 km/h pour pouvoir utiliser les pistes cyclables.

Le but est ainsi de calculer la consommation en kWh de la batterie du vélo pendant 20 ans d'utilisation en partant du principe que l'utilisateur utilise l'EcoBike 5 jours par semaine. Bien entendu, on supposera

que les batteries défectueuses ont été changées au cours du cycle de vie du vélo, soit tous les 3 à 5 ans.

A partir de la documentation technique ci-dessous donnée par l'entreprise Akkodis, nous avons pu obtenir la capacité de la batterie retenue pour le prototype : « Ultra r1240 » - 1240 Wh.

Batterie name	Ultra i500	Ultra i630	Ultra e630	Ultra r1240
Valeo reference	A759728	A796106	A796108	A796110
Capacity (Wh)	500	630	630	1240

Figure 5 : Capacité de la batterie Valeo

Supposons également que la batterie puisse supporter 1000 cycles de charge complets avant de perdre 20% de sa capacité, et que l'efficacité de la charge soit de 90%.

Nous devons déterminer le nombre de jours d'utilisation du vélo en 20 ans. En utilisant le vélo 5 jours par semaine, nous avons :

$$5 \text{ jours/semaine} * 52 \text{ semaines/an} * 20 \text{ ans} = 5200 \text{ jours d'utilisation en 20 ans}$$

Comme la batterie doit être rechargée deux fois par jour d'utilisation, nous avons :

$$2 \text{ recharges/jour} * 5200 \text{ jours d'utilisation} = 10400 \text{ recharges en 20 ans.}$$

Comme la batterie ne sera pas toujours complètement déchargée avant d'être rechargée, nous devons tenir compte de l'efficacité de la charge, qui est par hypothèse de 90%. Ainsi, la quantité d'énergie réellement nécessaire pour les 10400 recharges en 20 ans est de :

$$1,240 \text{ kWh} * 0,9 * 10400 \text{ recharges} = \mathbf{11606,4 \text{ kWh soit } 2,232 \text{ kWh/jour d'utilisation.}}$$

Ce chiffre a ainsi été rentré dans la partie « Utilisation » sur Empreinte Carbone : Nombre de kWh/Produit utilisé, permettant de remplir une des quatre étapes du cycle.

D'après une étude du cabinet de conseil indépendant spécialisé dans la stratégie bas carbone et l'adaptation au changement climatique « Carbone 4 », **l'empreinte carbone finale d'une batterie Li-ion varie donc de 77 à 221 kg CO2e/kWh**. Nous avons décidé de garder cette tranche de valeurs dans notre ACV pour les émissions de la batterie Valeo, en émettant l'hypothèse que les deux modèles de batteries sont similaires dans leur conception, approvisionnement et en composants.

L'étude de Carbone 4 montre que la majeure partie de l'empreinte carbone des batteries Li-ion est due pour **80% à la production des matériaux**, plutôt qu'à l'assemblage ou à l'utilisation.

L'écart d'empreinte carbone sur toute la durée de vie d'une batterie peut atteindre jusqu'à 60% entre une batterie contenant des matériaux à forte intensité de carbone et une contenant des matériaux à moindre intensité de carbone. Cet écart est principalement dû à la nature des matériaux naturels extraits et l'impact des méthodes de production des matériaux en amont (+70 % de CO2). Les méthodes d'assemblage (+70 % de CO2) sont également non négligeables. Parmi les matériaux en amont, les différences les plus importantes en termes d'intensité de carbone sont observées pour le graphite (x30) et le nickel (x3).

Finalement, ces résultats mettent en évidence que la production de la batterie compte pour une part significative, voire majoritaire, de l'impact carbone d'un vélo électrique.



Pour nuancer nos valeurs et nos propos, le bilan carbone global d'une batterie Li-ion est complexe, car il implique de nombreux matériaux qui sont extraits et transformés en métaux de qualité pour les batteries, notamment le lithium, le nickel, le manganèse, le cobalt et le graphite. Il implique aussi les procédés d'assemblage et dépend beaucoup des méthodes, des producteurs et de l'énergie utilisée par ces derniers (gaz, électricité carbonée ou non...).

Il existe donc des variations significatives par rapport aux valeurs moyennes existantes. Les données et méthodes de calcul méritent d'être mieux réglementées afin de mieux évaluer les différences réelles d'empreinte carbone entre les différents types de batteries.

## b. Panneau solaire

### Objectif :

L'objectif est de quantifier l'impact environnemental du panneau solaire 12V 100W ETFE hyper flexible Full Black sur l'ensemble de son cycle de vie. Les impacts environnementaux considérés seront le changement climatique en gCO<sub>2</sub>eq/kWh et l'épuisement des ressources fossiles et minérales.

### Champ de l'étude :

- Fonctionnalité : Conversion de l'énergie solaire en électricité afin de la stocker dans la batterie du vélo.
- Unité fonctionnelle : 1 panneau solaire de 100W avec des dimensions de 450×1160×2, un poids de 2.3kg et une capacité de flexibilité de 30°.
- Durée de vie : Nous considérons une durée de vie de 20ans car les panneaux solaires flexibles sont plus fragiles que ceux rigides mais nous n'avons de données précises à ce sujet dans la littérature.
- Limites du système : Extraction des matières premières, production, transport, installation, utilisation, maintenance et fin de vie (recyclage ou élimination).

### a. Extraction des matériaux nécessaires à la fabrication du panneau :

Le panneau solaire OVO de notre étude est composé de silicium monocristallin, d'éthylène tétrafluoroéthylène (ETFE), d'éthylène-vinyle-acétate (EVA), de cuivre et de Tedlar-Polyester-Tedlar (TPT). La figure ci-dessous montre la part de masse de chaque matériau des panneaux solaires standard. Pour notre panneau, l'aluminium et le verre que l'on retrouve sur ceux standards sont remplacés par de l'ETFE, réduisant considérablement le poids. De plus, le dos des panneaux classiques est en matériaux polymères, tandis que notre panneau flexible utilise du TPT.

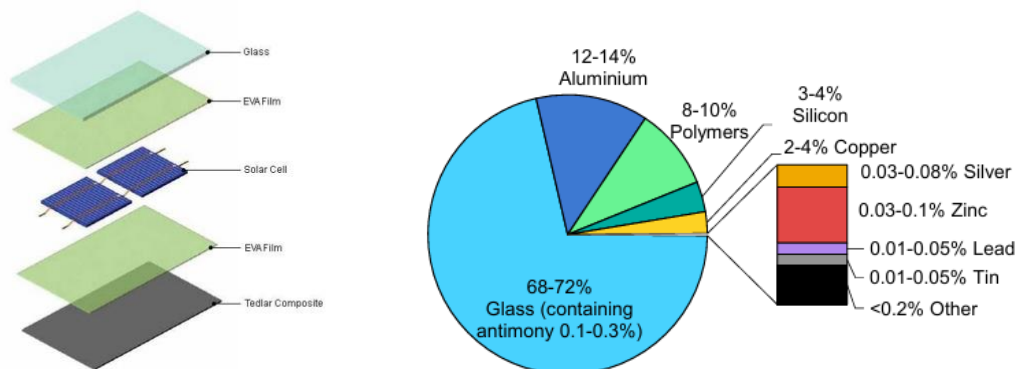


Figure 6 : Composition du panneau solaire OVO

Cette étude ACV porte essentiellement sur les impacts environnementaux du panneau solaire mais je pense qu'il est important de mentionner aussi les risques sociaux et économiques qu'impliquent l'utilisation massive de ces matériaux.

b. Fabrication des composants et Assemblage

Dans cette partie, nous évaluerons les émissions de CO2 associés à la production d'un panneau solaire flexible 100W OVO. Tout d'abord, voici, ci-dessous, une image représentant les étapes clés de fabrication d'un panneau solaire.



Figure 7: Etapes clés de la fabrication d'un panneau solaire

L'étude récente « Fraunhofer ISE, 79102 Freiburg, Germany », présentée à la 8<sup>ème</sup> conférence mondiale sur la conversion de l'énergie photovoltaïque en septembre 2022 à Milan, a quantifié les émissions de CO2 des panneaux solaires classiques monocristallin sur l'ensemble de leur chaîne de production. Voici, ci-dessous, les résultats de cette étude. Nous observerons seulement les trois colonnes de gauche sur le graphique car celles de droites sont pour des panneaux avec une couche de glace à l'avant et à l'arrière du panneau.

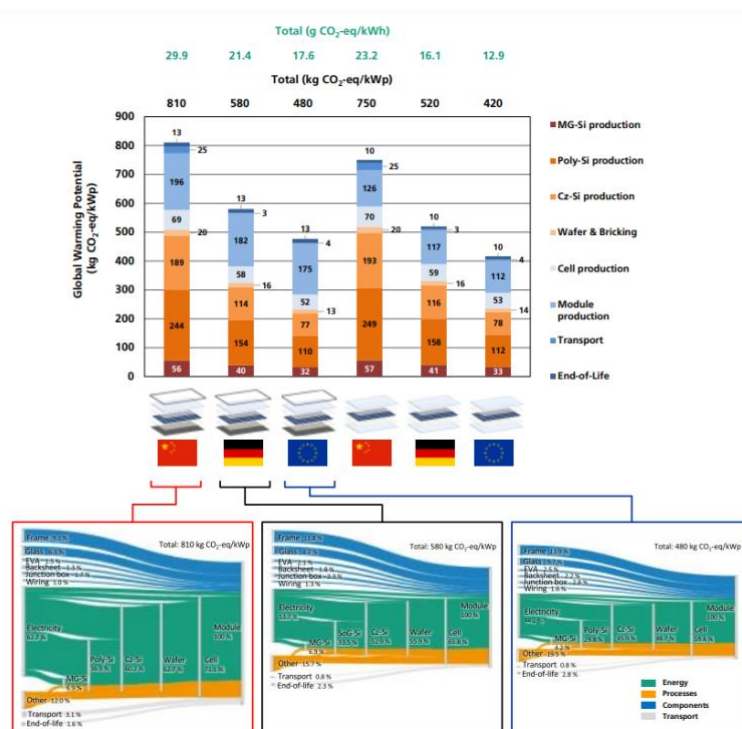


Figure 8 : Emissions de CO2 lors de la fabrication d'un PV

Les résultats montrent que l'impact carbone varie considérablement selon le mix énergétique du pays de production. Une production utilisant le mix énergétique européen génère beaucoup moins d'émissions que celle en Chine. En France, les émissions seraient encore plus réduites grâce à un mix énergétique bas carbone (21gCO<sub>2</sub>eq/kWh).

L'étude de l'ISE étudie un panneau solaire classique donc on doit l'adapter à au panneau solaire flexible OVO de notre étude. L'aluminium et le verre utilisés dans l'étude pour le panneau seront remplacés par de l'ETFE. On considèrera par soucis de simplification que la fabrication d'ETFE est autant émissif que la fabrication d'aluminium et de verre. Donc, on considèrera que l'étude l'ISE est autant représentative du panneau solaire OVO.

Pour la fabrication d'un panneau solaire flexible de 100W, l'étude ISE indique des émissions de 81kg de CO<sub>2</sub> pour une production 100% en Chine. Le panneau OVO de notre étude est produit en Chine, sauf pour la phase finale d'assemblage qui est réalisée en France. La phase d'assemblage représente, sur l'étude, de l'ISE 19,6kg de CO<sub>2</sub> sur les 81kg lorsqu'elle est faite en Chine. Nous souhaiterions déterminer les émissions de la phase d'assemblage du panneau si elle était réalisé en France. Nous utiliserons pour cela les mix énergétiques : Chine = 530gCO<sub>2</sub>eq/kWh, Europe = 317gCO<sub>2</sub>eq/kWh, France = 32gCO<sub>2</sub>eq/kWh. En utilisant ces valeurs et celles des émissions de CO<sub>2</sub> de la phase d'assemblage en Chine et Europe (19,6kg et 17,5kg), on peut déterminer les émissions de CO<sub>2</sub> lors d'un assemblage en France.

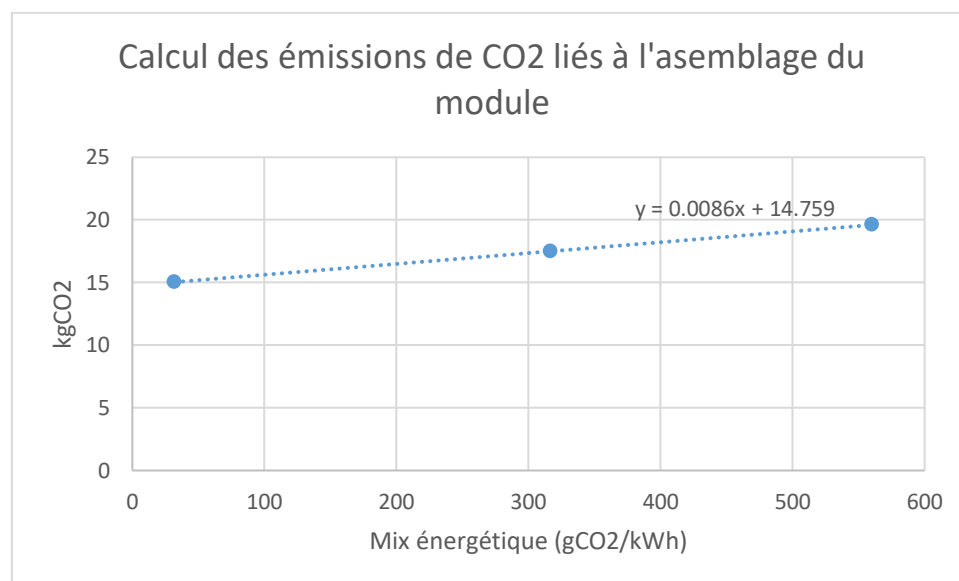


Figure 9 : Calcul des émissions de CO<sub>2</sub> liés à l'assemblage du module

Lorsqu'on remplace, dans la fonction, x par la valeur associée au mix énergétique français, on obtient 15,04kg de CO<sub>2</sub> émis. On a alors que pour la fabrication d'un panneau solaire flexible OVO, les émissions sont de 76,4kgCO<sub>2</sub>eq.

### **Phase d'utilisation :**

Maintenant que nous connaissons les émissions de CO<sub>2</sub> lors de la production du panneau solaire, nous pouvons calculer la quantité de CO<sub>2</sub> émise par kWh produit. Supposons que le panneau a une durée de vie de 20 ans et qu'il n'émet pas de CO<sub>2</sub> pendant son utilisation. Il a une puissance max de 100W et le temps d'ensoleillement (temps durant lequel le panneau fonctionne de façon optimale) à Paris est de 1300h/an d'après la littérature. Cependant, nous devons ajuster le temps d'ensoleillement car le panneau est mobile sur un vélo. En estimant que le panneau passe la moitié du temps à l'ombre à

cause des immeubles dans Paris, le temps d'ensoleillement passe à 650h/an. Enfin, l'inclinaison influence également la production. Le panneau étant à plat, l'inclinaison ne sera pas optimale, entraînant environ 10% de perte.

$$Production\ annuelle = 0.1kW \times 0.9 \times \frac{650h}{an} = 58.5kWh/an$$

$$Production\ sur\ un\ cycle\ de\ vie = \frac{58.5kWh}{an} \times 20 = 1170kWh$$

$$Emission\ de\ CO2\ du\ PV\ par\ kWh = \frac{76400gCO2eq}{1170kWh} = 65gCO2eq/kWh$$

On constate que ce panneau solaire émet 65gCO2eq/kWh. Ce qui est intéressant mais reste supérieur à au mix énergétique français.

#### **Fin de vie (Recyclage) :**

- Le cuivre et l'argent sont fondus pour être réutilisés, ils pourront servir à la fabrication de circuits électroniques.
- Le silicium peut se recycler 4 fois pour fabriquer de nouvelles cellules photovoltaïques
- Le plastique est un composant qui se recycle mal à l'heure actuelle car les machines nécessaires sont très spécifiques et ne sont pas disponibles partout. L'ETFE, TPT et EVA sont donc plus difficilement recyclables et souvent les industries préfèrent ne pas les recycler.

#### c. Valeo Cyclee – Moteur + boîte de vitesse

Afin de calculer les émissions de CO2eq du bloc moteur/boîte de vitesse, nous avons décidé de se baser sur les valeurs disponibles dans la base de données de l'ADEME. Rappelons que ces composants, au sein de l'ECOBIKE, ont une masse totale de 5 kilos. Ces pièces en série sont complexes, principalement en acier. Ainsi effectuer une ACV pour ces pièces complexes sans documentation au préalable semblaient complexes. Nous avons envisagé pour ce faire plusieurs scénarios :

**Scénario 1 :** Trouver une ACV complète d'un moteur BLDC à aimant permanent avec une puissance maximale de 750 W, modèle se rapprochant le plus possible du modèle de moteur de l'ECOBIKE.

**Scénario 2 :** Si Scénario 1 non faisable, trouver une ACV complète d'un moteur 250 W BLDC. Et par proportionnalité (bobines trois fois plus grosses pour avoir plus de couple et de puissance), multiplier par 3 le résultat final.

Sachant qu'aucun de deux scénarios n'a été trouvé dans la documentation en ligne, nous avons donc décidé de se pencher sur les résultats de l'ADEME pour un moteur électrique ci-dessous :

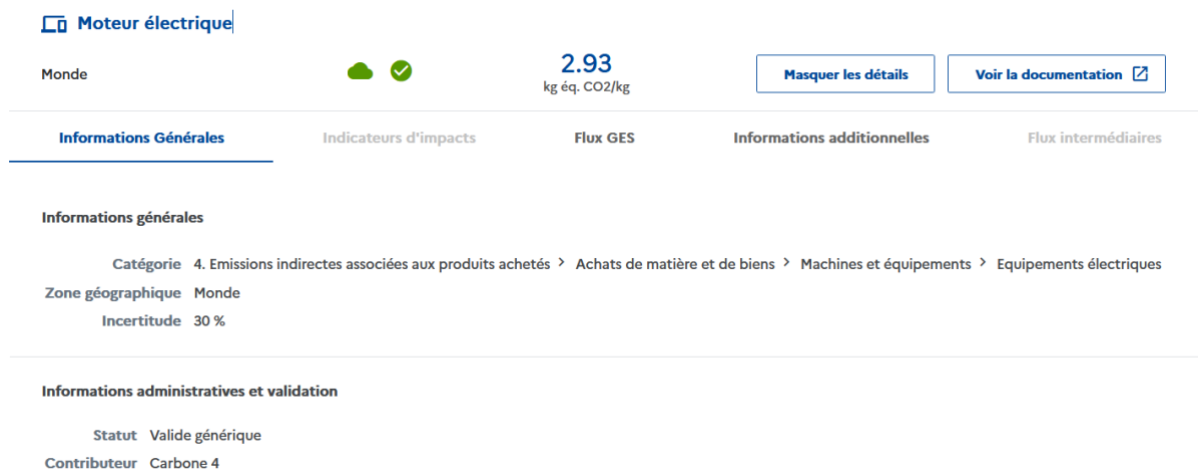


Figure 10 : Emission d'un moteur électrique (ADEME)

On peut donc à partir de ce résultat, que le moteur émet **14.65 kg éqCO<sub>2</sub>** durant sa phase d'approvisionnement. Notons que ce chiffre n'est pas représentatif du système sur lequel on travaille mais permet quand même d'avoir une idée des émissions potentielles du moteur. Nous pouvons aussi remarquer que ce chiffre a une **incertitude de 30%**.

Il faudra également ne pas oublier que la conception du moteur et de la boîte de vitesses est très consommatrice de terres rares. Impactant considérablement l'écosystème social et environnemental du lieu d'extraction de ces matières premières.

#### d. Panneaux Kairlin

Les panneaux Kairlin représentent un poids total de 29 kg et sont composés de bio-sandwich. Le bio-sandwich est un matériau composé **de PLA (acide polylactique) et de lin français**.

Pour déterminer son empreinte carbone, il faut déterminer l'empreinte carbone du PLA et du lin ainsi que les impacts de leur fusion pour créer du bio-sandwich.

Concernant le **PLA**, il faut prendre en compte sa production et son transport.

La production du PLA comprend plusieurs étapes la culture du maïs, la fermentation pour produire l'acide lactique ainsi que la polymérisation.

- La culture du maïs nécessite pour 1kg de maïs grain environ 454L d'eau. On estime que l'émission moyenne d'une exploitation agricole est d'environ 2 tonnes de CO<sub>2</sub> par hectare en prenant en compte l'irrigation de l'eau, l'utilisation des engrais, etc. Cependant, l'exploitation de maïs capte annuellement environ 27 tonnes de CO<sub>2</sub> grâce à ses tiges et ses racines. On peut donc estimer que la culture du maïs n'émet pas de GES mais il ne faut pas oublier l'impact sur l'eau et les sols.
- Concernant la fermentation pour produire l'acide lactique, on estime à 2.5 kg de CO<sub>2</sub>e / kg d'acide lactique.
- En prenant en compte l'énergie utilisée ainsi que les émissions des catalyseurs utilisés, on peut déduire que la polymérisation émet 1.4 kg de CO<sub>2</sub>e / kg de PLA.

Le transport a lieu entre la récolte de la production de maïs et les étapes de production du PLA (fermentation et polymérisation) ainsi que pour le transport du produit fini. Les émissions associées aux transports sont de l'ordre de 1.3 kg CO<sub>2</sub>e / kg de PLA.

PLA	Emission (kg CO <sub>2</sub> e / kg de PLA)
Production	
Culture du maïs	/
Fermentation	2.5
Polymérisation	1.4
Transport	1.3

Au total, le PLA a donc une émission **de 5.2 kg CO<sub>2</sub>e / kg de PLA.**

Concernant le **lin** français produit en Normandie, il faut prendre en compte les émissions agricoles, la transformation industrielle et le transport.

- Pour les émissions agricoles, en incluant l'utilisation de machineries et des intrants agricoles, on estime à environ 1.2 kg de CO<sub>2</sub>e par kg de fibres de lin. Le lin ne nécessite que très peu d'engrais et il n'a pas besoin d'irrigation.
- Les différentes étapes de la transformation du lin sont le rouissage, le teillage et le filage. En supposant une électricité mixte en termes d'émissions, on peut estimer à 2 kg de CO<sub>2</sub>e par kg de fibres de lin.
- Le transport routier du lin suite à la récolte puis le transport routier du produit fini émettent au total : 0.8 kg CO<sub>2</sub>e / kg de fibres de lin.

Lin	Emission (kg CO <sub>2</sub> e / kg de PLA)
Production	
Culture du lin	1.2
Transformation industrielle	1.3
Transport routier	1

Au total, le lin français a donc une émission **de 3,5 kg CO<sub>2</sub>e / kg de fibres de lin.**

Concernant la fusion du PLA et du lin, on calcule la consommation énergétique pour fondre 5kg de PLA à 200°C.

La chaleur spécifique du PLA est d'environ 1.9 J/g°C.

Pour augmenter la température de 5 kg de PLA de 25°C (température ambiante) à 200°C, il faut :  $E = 1\ 662\ 500\ J = 0.462\ kWh$

L'intensité carbone moyenne de l'électricité en France est d'environ 0.06 kg CO<sub>2</sub>e/kWh (électricité majoritairement nucléaire et renouvelable) : Emissions  $\approx 0.028\ kg\ CO_2e$

Pour le bio-sandwich, on fait l'hypothèse d'une composition avec 35% de lin et 65% de PLA. On prend également en compte l'énergie de fusion, ce qui nous donne une émission totale pour le bio-sandwich de **4,6 kgCO<sub>2</sub>e/kg de bio-sandwich.**

L'ensemble des panneaux Kairlin fait 29kg, ainsi l'émission de carbone des panneaux en Kairlin est de **136 kgCO<sub>2</sub>e.**

#### e. Bamboo composite side wall

La pièce "bamboo composite side wall" est composée de 80% de bambou et de 20% de composite de lin et de poids total de 8kg. Le bambou représente donc 5,3kg et le composite de lin 2,7kg.

Le composite de lin est composé de 50% de lin et de 50% de résine infugreen. Les émissions du lin ont été calculées dans la partie précédente et elles valent 4 kg CO<sub>2</sub>e / kg de fibres de lin. La résine infugreen est une résine réalisée à partir de carbone bio-sourcé à 38%. Les émissions pour une résine epoxy est de 4,2kg CO<sub>2</sub>e/kg ainsi pour la résine infugreen on peut donc estimer que les émissions sont de l'ordre de 1,7kg CO<sub>2</sub>e/kg. Ainsi pour le composite lin, les émissions sont de **7,9kg CO<sub>2</sub>e**.

Concernant le bambou qui est produit en France pour cette pièce, il faut prendre en compte sa production, ses transports et sa fin de vie.

- Production : les émissions pour la culture du bambou est d'environ 0,7 kg CO<sub>2</sub>e/kg et le traitement et la transformation en produit fini 1,2kg CO<sub>2</sub>e/kg
- Transports : entre le lieu de culture et de transformation puis jusqu'au lieu fabriquant la pièce 1,3 kg CO<sub>2</sub>e/kg
- Fin de vie du bambou : plusieurs options possibles compostage, réutilisation ou incinération qui est de 0,3 kg CO<sub>2</sub>e/kg

L'émission total du bambou est donc de 3,5 kg CO<sub>2</sub>e/kg soit **18,55 kgCO<sub>2</sub>e**.

Ainsi pour la pièce Bamboo composite side wall l'empreinte carbone peut être estimé à **26,45 kg CO<sub>2</sub>e**.

#### f. Central beam

La poutre centrale dite « central beam », est un composant majeur de l'Ecobike. Elle est composée de 7 kg de fibres de lin, 7 kg de matrice Infugreen ainsi que de 20 vis en acier. Les vis en acier ne seront pas prises en compte dans ce calcul annexe car elles sont simples à intégrer au modèle de l'ADEME.

Le tableau suivant présente les émissions en CO<sub>2</sub> équivalent du sourcing des matériaux du central beam, avec les valeurs définies lors des calculs des autres pièces ci-dessus.

Emission en CO <sub>2</sub> eq de l'approvisionnement en matière première			
Matériau	Masse	kgCO <sub>2</sub> eq/kg matériau	kgCO <sub>2</sub> eq
Lin	7 kg	4,2 kgCO <sub>2</sub> eq/kg	29,4 kgCO <sub>2</sub> eq
Infugreen	7 kg	1,7 kgCO <sub>2</sub> eq/kg	11,9 kgCO <sub>2</sub> eq
<b>Total</b>	<b>14 kg</b>	/	<b>41,3 kgCO<sub>2</sub>eq</b>

L'étape de fabrication de la pièce a également un impact. Le procédé utilisé pour sa mise en forme est le moulage sous vide (vacuum bagging). Il consiste à disposer les fibres de lin et la matrice dans un moule étanche puis, à l'aide d'une pompe, faire le vide pour donner la forme souhaitée à la pièce. Ce calcul annexe ne prend pas en compte l'impact du moule, qui sera amorti lors de l'étape d'industrialisation. L'émission due à cette étape de mise en forme provient donc principalement de

l'énergie utilisée par la pompe lors du processus. Voici les hypothèses que nous avons pris pour ce calcul ainsi que des éléments justificatifs :

- Temps de mise en forme de 10h (pire scénario).
  - ➔ Référence du cadre de vélo classique qui nécessite 2h de mise en forme.
  - ➔ Notre pièce est plus complexe et de plus grande dimension.
  - ➔ Le lin est une matière difficile à travailler.
- Pompe à vide utilisée de 5 kW.
  - ➔ Littérature des pompes à vides utilisées adaptées au moulage à vide pour des grandes pièces [4].

Ainsi, l'énergie consommée lors de la fabrication de la poutre centrale est de :

$$E_{pompe} = P * t = 50 \text{ KWh}$$

Sachant que l'atelier du fabricant IRT Jules Verne est situé en France dont l'intensité carbone est de 60 gCO<sub>2</sub>eq/KWh [5] dans le pire des cas, l'émission en CO<sub>2</sub>eq de l'étape de fabrication sont de **3 kgCO<sub>2</sub>eq**.

De plus, l'approvisionnement par transport routier de la pièce finale représente **6,1 kgCO<sub>2</sub>eq** (d'après l'ADEME).

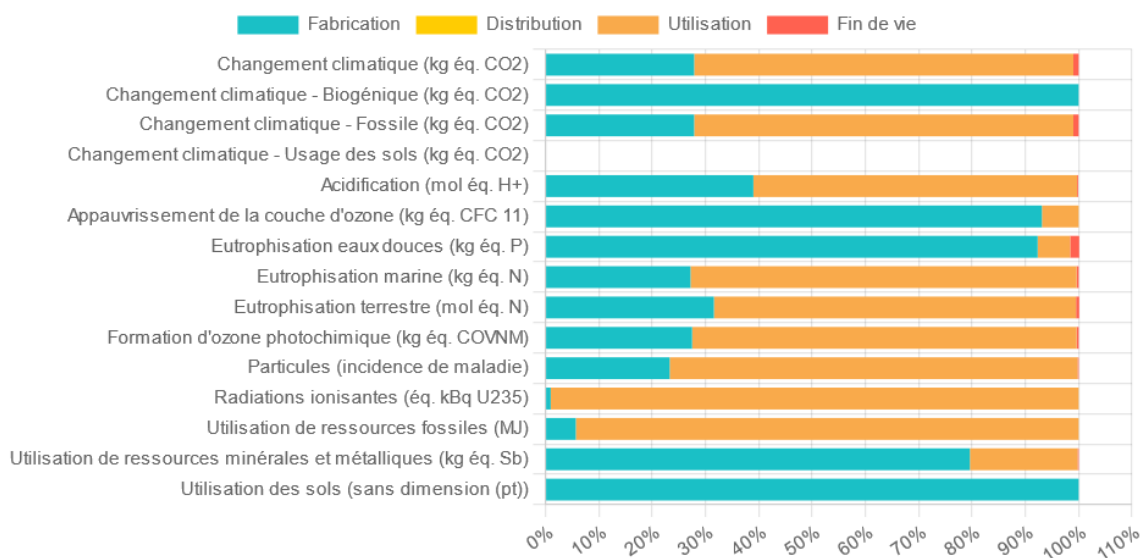
Une dernière étape est à considérer : la fin de vie. Le composite est ici de type thermo-dur, ce qui signifie qu'une fois que la pièce est mise en forme, il est impossible de refondre la matrice pour récupérer les fibres par exemple. Cependant, même si la poutre est constituée de composite thermoplastique, les technologies de recyclage de composite est un sujet à fort enjeu dans l'industrie qui n'est aujourd'hui pas assez mature pour être envisagé dans cette étude. Nous considérerons donc que la pièce sera incinérée en France, rejetant ainsi **2,5 kgCO<sub>2</sub>eq** (d'après l'ADEME).

Finalement, le composant central beam émet un total de **52,9 kgCO<sub>2</sub>eq**.



## IV. Résultats

### g. Résultats des composants mis sur Base Empreinte



Nom	Niveau recommandation	Total	Unité
Changement climatique	I	1.31e+3	kg éq. CO2
Changement climatique - Biogénique	I	4.50e-2	kg éq. CO2
Changement climatique - Fossile	I	1.31e+3	kg éq. CO2
Changement climatique - Usage des sols	I	0.00	kg éq. CO2
Acidification	II	4.01	mol éq. H+
Appauvrissement de la couche d'ozone	I	1.47e-4	kg éq. CFC 11
Eutrophisation eaux douces	II	6.26e-3	kg éq. P
Eutrophisation marine	II	1.22	kg éq. N
Eutrophisation terrestre	II	8.51	mol éq. N
Formation d'ozone photochimique	II	3.39	kg éq. COVM
Particules	I	6.31e-5	incidence de maladie
Radiations ionisantes	II	3.79e+4	éq. kBq U235
Utilisation de ressources fossiles	III	1.15e+5	MJ
Utilisation de ressources minérales et métalliques	III	2.79e-3	kg éq. Sb
Utilisation des sols	III	1.81e+1	sans dimension (pt)

Figure 11 : Résultats de l'ADEME

h. Résultats Pièces complexes hors ADEME

Composants complexes	Données émissions
Batterie Valeo	95,48 kgCO2e
Roof support sandwich panel	14,4 kgCO2e
Valeo Cyclee - Moteur + boîte de vitesses	14,65 kgCO2e (Mise sur l'ADEME)
Cargo floor sandwich panel Kairlin - central	136 kgCO2e (pièce totale en Kairlin)
Central beam	52,9 kgCO2e
Cargo floor sandwich panel Kairlin - central	136 kgCO2e (pièce totale en Kairlin)
Firewall sandwich panel Kairlin	136 kgCO2e (pièce totale en Kairlin)
Bed door sandwich cargo panel Kairlin	136 kgCO2e (pièce totale en Kairlin)
Bed door sandwich front decorative panel Kairlin	136 kgCO2e (pièce totale en Kairlin)
Bamboo composite side wall	26,45 kgCO2e
Panneau solaire OZO	76 kgCO2e
IHM Valeo	1,03 kgCO2e (Mise sur l'ADEME)

Composants complexes	Emissions kgCO2e
Batterie Valeo	95,48
Roof support sandwich panel	14,4
Valeo Cyclee - Moteur + boîte de vitesses	14,65
Pièce totale en Kairlin	136
Central beam	52,9
Bamboo composite side wall	26,45
Panneau solaire OZO	76
IHM Valeo	1,03
<b>Total</b>	<b>416,91</b>

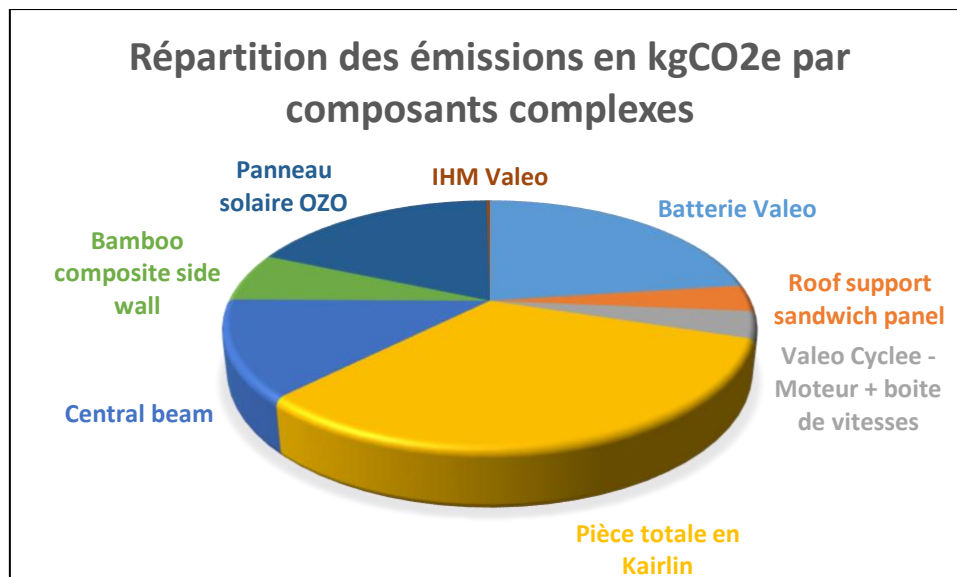
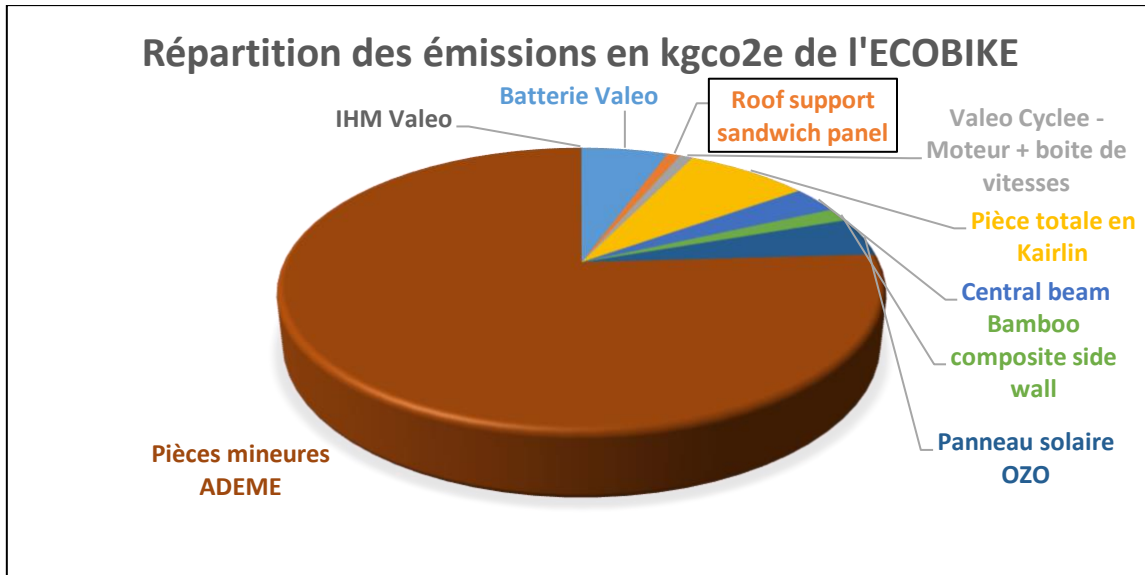


Figure 12 : Résultats des pièces complexes

i. Bilan Global



Le graphique ci-dessus regroupe tous les composants de l'Ecobike, sous le critère de l'émission en masse de kg CO<sub>2</sub> équivalent. Le détail des pièces mineurs traitées sur l'ADEME est disponible sous forme de fichier Excel. Il est important de noter que selon la norme ISO 14040 qui régit l'ACV, une analyse de cycle de vie est valide si l'on compare le produit, et que l'étude se base sur au moins 5 indicateurs. Ces résultats sont donc à nuancer, et des éléments complémentaires sont à apporter pour se servir de cette analyse.

Nous pouvons cependant distinguer des résultats attendus comme l'impact de la batterie sur les émissions CO<sub>2</sub>eq, et dont l'impact est également très important sur d'autres indicateurs tels que la pollution des sols et l'épuisement des ressources. Aussi, de nombreuses pièces considérées moins complexes sont en acier ou aluminium, ce qui représente une partie importante du graphe.

Un autre point important est le cas d'utilisation. Les résultats présentés ici ne sont pas amortis par le nombre d'utilisation car on étudie qu'un seul produit. La notion de flux de référence serait primordiale à intégrer pour comparer l'Ecobike à d'autres véhicules du marché.

## V. Regard critique de l'ACV

### 1. Panneau solaire

#### Environnementalement non avantageux :

Dans la section 3.b, nous avons calculé que le panneau solaire sur l'ECOBIKE produit 65gCO<sub>2</sub>eq/kWh. Le mix énergétique de la France émet 21gCO<sub>2</sub>eq/kWh. Cela remet en question l'utilisation de ce panneau. En termes d'émissions de CO<sub>2</sub>, ce panneau émettra plus de CO<sub>2</sub> sur sa durée de vie qu'il n'en économisera, car son taux d'émission par kWh est supérieur à celui du mix énergétique français. Néanmoins, il contribue à renforcer la capacité de production énergétique bas-carbone de la France, car même si 65gCO<sub>2</sub>eq/kWh reste élevé, cela est toujours mieux que de faire fonctionner une centrale à gaz. Toutefois, ce panneau serait deux fois plus productif sur un toit. Ainsi, nous concluons que le panneau solaire OVO est nous pensons plus avantageux sur un toit que sur l'ECOBIKE.

#### Economiquement avantageux :

D'un point de vue économique, pour un investissement de 130€ à l'achat, comme le panneau produit 1170kWh sur 20ans, alors on estime que l'utilisateur économisera sur les 20ans d'utilisation :  $130€ - 0.17€/kWh * 1170kWh = 198€$ . L'utilisateur économisera alors 68.9€ sur 20ans ce qui est plutôt positif. Mais, nous pensons qu'une économie de 68,9€ sur 20ans n'est pas très attrayante ou tout cas pas suffisante pour justifier l'utilisation d'un panneau sur le vélo.

### 2. Comparaison à un camion de livraison électrique :

Nous allons comparer l'impact carbone de l'utilisation de l'ECOBIKE et d'un petit camion de livraison électrique pour livrer six palettes quotidiennement dans Paris. Voici les caractéristiques pour l'ECOBIKE et le véhicule électrique (VE) de livraison :

ECOBIKE : une palette à la fois (0.3t/palette), deux charges de batterie par jour, durée de vie de 20 ans.

VE de livraison : six palettes à la fois, selon l'ADEME, 0.144 kgCO<sub>2</sub>eq/tonne/km pour l'ensemble du cycle de vie (20ans).

Voici une carte de Paris sur laquelle nous avons représenté le centre de stockage (■) de palettes et les 6 points de livraison quotidien (●).

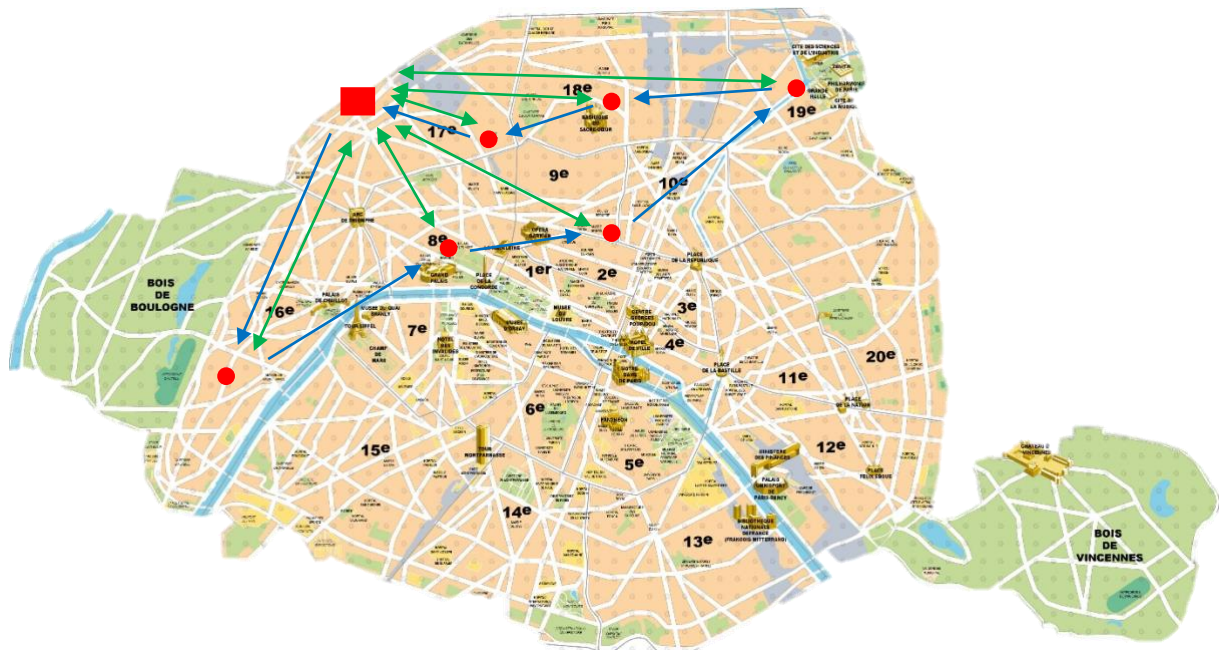


Figure 13 : Trajet de livraison quotidien

Nous avons calculé que le VE de livraison parcourra 28.4 km, tandis que l'ECOBIKE devra parcourir 66.2 km, car il doit revenir au centre de stockage après chaque livraison, ne pouvant transporter qu'une palette à la fois. Les détails du calculs sont explicité dans l'annexe 3.

Bilan du calculs :

VE en livraison :  $Bilan\ en\ tCO_2eq\ sur\ 20ans = 0.000144teqCO_2/t/km * 0.3t/palette * 6\ palettes * 28.4km * 30jours * 12mois * 20ans = 53\ teqCO_2$

Ecobike :  $Bilan\ en\ tCO_2eq\ sur\ 20ans = 1.726teqCO_2\ (phase\ de\ fabrication) + 0.229teqCO_2\ (phase\ d'utilisation) = 2\ teqCO_2$

D'après les résultats, l'utilisation d'un ECOBIKE à moins d'impact en terme d'émission de CO2 qu'un camion électrique de livraison. En effet, l'utilisation d'un Ecobike sur 20ans est 25fois moins émetteur en CO2 qu'un camion électrique de livraison.

## VI. Conclusion et perspectives

L'Analyse de Cycle de Vie de ce prototype de vélo électrique conçu par l'entreprise Akkodis a permis de mettre en lumière plusieurs aspects importants. Tout d'abord, il est clair que la phase d'approvisionnement, incluant l'extraction des matières premières et la fabrication, représente une part significative de l'impact environnemental total du vélo. Cependant, l'utilisation de matériaux recyclés et la fabrication locale ont permis de réduire un peu cet impact.

Ensuite, la phase d'utilisation contribue à une nette part des émissions, principalement due à l'utilisation de la batterie Valeo pendant un cycle de vie de 20 ans. Mais la faible consommation d'énergie du moteur électrique Valeo constitue un atout majeur pour réduire l'impact environnemental du prototype.

En somme, bien que la production d'un vélo électrique ait un impact environnemental non négligeable, ce vélo se démarque par ses efforts dans la recherche de matériaux biosourcés et plus responsables dans le choix des matières premières.

Nous rappelons que des éléments complémentaires sont à ajouter pour utiliser ces analyses conformément à la norme ISO 14040.

## VII. Bibliographie

[1] - <https://bib-batteries.fr/blog/battery-impact>

[2] - Fiche technique matrice Infugreen pour central beam - Sicomin -

[https://sicomin.com/fiches-techniques/srInfuGreen810\\_sd882x.pdf](https://sicomin.com/fiches-techniques/srInfuGreen810_sd882x.pdf)

[3] - ANALYSE DE CYCLE DE VIE COMPARATIVE DE PANNEAUX  
DE PORTE BIOSOURCE (PP/FIBRES DE LIN ET CHANVRE)

ET PETROSOURCE (ABS) - ADEME :

[3.1] - Synthèse de l'étude -

[https://librairie.ademe.fr/ged/2057/analyse\\_cycle\\_de\\_vie\\_comparative\\_de\\_panneaux\\_de\\_porte\\_automobile-biosource\\_synthese\\_de\\_l\\_etude.pdf](https://librairie.ademe.fr/ged/2057/analyse_cycle_de_vie_comparative_de_panneaux_de_porte_automobile-biosource_synthese_de_l_etude.pdf)

[3.2] - Messages clefs -

[https://librairie.ademe.fr/ged/2057/analyse\\_cycle\\_de\\_vie\\_comparative\\_de\\_panneaux\\_de\\_porte\\_automobile-biosource\\_messages\\_clefs.pdf](https://librairie.ademe.fr/ged/2057/analyse_cycle_de_vie_comparative_de_panneaux_de_porte_automobile-biosource_messages_clefs.pdf)

[3.3] - Rapport final -

[https://librairie.ademe.fr/ged/2057/analyse\\_cycle\\_de\\_vie\\_comparative\\_de\\_panneaux\\_de\\_porte\\_automobile-biosource\\_rapport\\_final.pdf](https://librairie.ademe.fr/ged/2057/analyse_cycle_de_vie_comparative_de_panneaux_de_porte_automobile-biosource_rapport_final.pdf)

[4] – Busch Vacuum - Fournisseur pompe à vide - <https://www.buschvacuum.com/fr/fr/>

[5] – Intensité carbone de l'électricité en France - <https://app.electricitymaps.com/zone/FR>

[6] – Les panneaux solaires bas-carbone en France :

[https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/document\\_travail\\_53\\_panneaux\\_solaires\\_octobre2021\\_3.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/document_travail_53_panneaux_solaires_octobre2021_3.pdf)

## VIII. Annexe

### Annexe 1 :

	Cuivre	Silicium	ETFE	EVA	TPT
Risques économiques	<p><b>Concentration géographique :</b> 60 % de la production mondiale est concentrée dans quatre pays (la Chine, le Chili, le Japon et la République Démocratique du Congo), créant une vulnérabilité aux perturbations géopolitiques.</p> <p><b>Décalage demande/production</b> La demande augmente rapidement alors qu'il faut environ 16 ans pour mettre en service une nouvelle mine de cuivre, provoquant des risques de pénurie et de hausse des prix.</p>	<p><b>Fluctuation des prix :</b> Les prix du silicium peuvent varier considérablement, comme observé pendant la pandémie de COVID-19, où les prix ont triplé.</p> <p><b>Concentration de la production :</b> 2/3 de la production mondiale de silicium est détenue par la Chine, créant une dépendance et un risque stratégique pour les autres pays.</p>	<p><b>Dépendance au pétrole :</b> L'ETFE est produit à partir de dérivés du pétrole, rendant sa production dépendante des fluctuations des prix du pétrole.</p>	<p><b>Dépendance aux matières premières</b> La production d'EVA dépend des matières premières dérivées du pétrole, soumise aux fluctuations des prix du pétrole.</p>	<p><b>Coût de production élevé :</b> La synthèse des composants de Tedlar et du polyester est complexe et énergivore, ce qui peut augmenter les coûts de production.</p>
Risques environnementales	<p><b>Extraction énergivore</b> Le processus d'extraction et de raffinage du cuivre est extrêmement énergivore et contribue aux émissions de CO<sub>2</sub>.</p> <p><b>Dégradation environnementale :</b> L'extraction minière entraîne souvent une déforestation, une contamination des sols et des cours d'eau.</p>	<p><b>Production énergivore :</b> La production de silicium monocristallin, une étape clé dans la fabrication des panneaux solaires, est l'une des plus énergivores, augmentant l'empreinte carbone totale.</p> <p><b>Impact environnemental :</b> L'extraction et le traitement du silicium peuvent entraîner une pollution de l'air et de l'eau.</p>	<p><b>Production pétrochimique énergivore :</b> Bien que moins énergivore que d'autres polymères fluorés, la production d'ETFE reste significative en raison des étapes de synthèse chimique.</p> <p><b>Déchets et pollutions :</b> Les processus de production peuvent générer des déchets dangereux et des émissions de gaz à effet de serre.</p>	<p><b>Production modérément énergivore</b> La production d'EVA est modérément énergivore, contribuant aux émissions de gaz à effet de serre.</p> <p><b>Déchets plastiques :</b> L'utilisation de plastiques dans la production peut entraîner des problèmes de gestion des déchets.</p>	<p><b>Production énergivore :</b> La production de TPT nécessite des réactions chimiques complexes et énergivores, augmentant l'empreinte carbone.</p> <p><b>Pollution chimique :</b> La synthèse des matériaux peut produire des déchets chimiques potentiellement nocifs pour l'environnement.</p>

### Risques sociaux :

Les matériaux utilisés dans les panneaux solaires présentent plusieurs risques sociaux importants. Le cuivre et le silicium sont souvent associés à des conditions de travail précaires, incluant le travail des enfants et des environnements dangereux. La production de matériaux pétrochimiques comme l'ETFE et l'EVA expose les travailleurs à des risques sanitaires. De plus, l'extraction et le traitement de ces matériaux peuvent entraîner des conflits et des impacts négatifs sur les communautés locales. Les conditions de travail dans les processus chimiques complexes, notamment pour le TPT, peuvent aussi être dangereuses et mal rémunérées.


En résumé, chaque matériau utilisé dans la fabrication des panneaux solaires présente des risques spécifiques qui doivent être pris en compte pour évaluer leur impact environnemental et social. Des efforts sont actuellement faits pour réduire l'empreinte carbone et assurer des conditions de travail sûres.

### Annexe 2 :



— Véhicules automobiles et autres matériels de transport > Achats de matière et de biens (1)  
(4. Emissions indirectes associées aux produits achetés)

**Vélo à assistance électrique**

France continentale  **262**  
kg éq. CO2/unité

[Masquer les détails](#) [Voir la documentation](#)

Informations Générales    Indicateurs d'impacts    **Flux GES**    Informations additionnelles    Flux intermédiaires

Type poste	CO <sub>2</sub> f kg éq. CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> f kg éq. CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> b kg éq. CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O kg éq. CO <sub>2</sub>	Autre Gaz kg éq. CO <sub>2</sub>	Total kg éq. CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> b kg éq. CO <sub>2</sub>
Intrants (Matières premières)	213	0	0	0	0	213	0
Transport (Approvisionnement)	28.6	0	0	0	0	28.6	0
Energie (Mise en forme)	4.88	0	0	0	0	4.88	0
Energie (Assemblage)	2.99	0	0	0	0	2.99	-0.148
Transport (Distribution)	11.9	0	0	0	0	11.9	0
<b>Total</b>	<b>262</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>262</b>	<b>-0.148</b>

\* On utilise les PRG du [6ème rapport du GIEC \(2022\)](#) sans prise en compte de la rétroaction climatique.

### Annexe 3

ECOBIKE		VE livraison		poid palette (t)		0,31 Mix énergétique FR (gCO <sub>2</sub> eq/kWh)		22	
Etape	Distance(Km)	Etape	Distance(Km)	Production du PV sur 20ans (kWh)		1170	Consommation élec sur 20ans		11606
1	16	1	8						
2	10	2	4,4						
3	11,8	3	3						
4	5,6	4	4,1						
5	7	5	3,9						
6	15,8	6	2,5						
7	0	7	2,5						
Dist Totale	66,2	Dist Totale	28,4						
				VE livraison			ECOBIKE		
				kgCO <sub>2</sub> /km	0,144	Fabrication (kgCO <sub>2</sub> eq)		1726	
				Durée de vie (ans)	20	Durée de vie (ans)		20	
						Utilisation sur 20ans (kgCO <sub>2</sub> eq)		229,532	
				<b>Bilan sur 20ans (tCO<sub>2</sub>eq)</b>		<b>53,001216</b>			<b>1,955532</b>

Contact

—