

RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix-Travail-Patrie

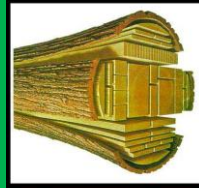
UNIVERSITÉ DE YAOUNDE I

ÉCOLE NORMALE SUPERIEURE

DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

LABORATOIRE DES SCIENCES ET
TECHONLGIES DU BOIS

B. P. 47 Yaoundé



LSTB

REPUBLIC OF CAMEROON

Peace-Work-Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TEACHER TRAINING COLLEGE

DEPARTMENT OF PHYSICS

LABORATORY OF WOOD SCIENCE AND
TECHNOLOGY

P. O. Box 47 Yaoundé

ÉVALUATION COMPARÉE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES TRAVERSES DE CHEMIN DE FER EN BOIS ET EN BÉTON UTILISÉES AU CAMEROUN

*Mémoire présenté et soutenu en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur
d'Enseignement Secondaire deuxième grade (DIPES II).*

Par :

DEUMI KAMAHA Juliette Stévia

Master II en physique

Matricule 10W0125

Sous la direction du

Prof. MUKAM FOTSING Joseph Albert

Maître des conférences, Université de Yaoundé I

Année académique 2015-2016

RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix-Travail-Patrie

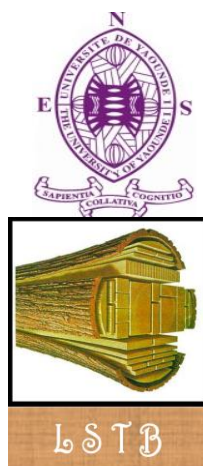
UNIVERSITÉ DE YAOUNDE I

ÉCOLE NORMALE SUPERIEURE

DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

LABORATOIRE DES SCIENCES ET
TECHONLGIES DU BOIS

B. P. 47 Yaoundé



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace-Work-Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TEACHER TRAINING COLLEGE

DEPARTMENT OF PHYSICS

LABORATORY OF WOOD SCIENCE AND
TECHNOLOGY

P. O. Box 47 Yaoundé

ÉVALUATION COMPARÉE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES TRAVERSES DE CHEMIN DE FER EN BOIS ET EN BÉTON UTILISÉES AU CAMEROUN

*Mémoire présenté et soutenu en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur
d'Enseignement Secondaire deuxième grade (DIPES II).*

Par :

DEUMI KAMAHA Juliette Stévia

Master II en physique

Matricule 10W0125

Sous la direction du

Prof. MUKAM FOTSING Joseph Albert

Maître des conférences, Université de Yaoundé I

Année académique 2015-2016

**EVALUATION COMPAREE DE L'IMPACT
ENVIRONNEMENTAL DES TRAVERSES DE
CHEMIN DE FER EN BOIS ET EN BETON
UTILISEES AU CAMEROUN**

Mémoire présenté et soutenu en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur des Lycées
d'Enseignement Secondaire Général de Deuxième Grade (D.I.P.E.S.II).

Par :

DEUMI KAMAHA Juliette Stévia

Matricule 10W0125

Master en Physique

Sous la direction du :

Prof. MUKAM FOTSING Joseph Albert

Maitre des conférences à l'université de Yaoundé I

Dédicace

Je dédie ce mémoire, fruit d'un dur labeur et de plusieurs nuits d'insomnie à :

- ✓ Ma grand- mère **KAMENI Marie-Louise** ;

- ✓ Mes parents **KAMAHA Prospère** et **NITCHEU Victorine**, que j'aime tendrement.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude, ma reconnaissance et mes remerciements les plus sincères:

- À Dieu Tout Puissant qui m'a donné toutes les Grâces durant la réalisation de ce mémoire de DIPES II ;
- Au Professeur **Nicolas Gabriel ANDJIGA**, Directeur de l'Ecole Normale Supérieure de l'Université de Yaoundé 1 pour le bon suivi de tous les étudiants;
- Au Professeur **BEGUIDE BONOMA**, chef de Département de Physique pour le bon suivi des étudiants de la série physique ;
- Au Professeur **MUKAM FOTSING Joseph Albert**, mon directeur de mémoire, pour sa patience et son temps qu'il a sacrifié pour mon encadrement tout au long de l'année ;
- À tous mes **Professeurs de l'Ecole Normale Supérieure** pour les enseignements qu'ils m'ont dispensés ;
- Aux **membres du jury** pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer mon travail ;
- À tous mes **camarades de promotion** pour les débats édifiants et les stratégies d'étude que nous avons partagées ;
- À mes **frères et sœurs** pour tout le réconfort et l'amour qu'ils m'ont toujours exprimés ;
- À la famille **NGANKAM** qui a toujours été un point d'appuis pour moi tout au long de ma formation ;
- À tous mes **oncles et tantes** qui m'ont toujours encouragée;
- À tous mes **cousins et cousines** qui n'ont cessé de me motiver pendant ma formation;
- À **EMMAÛS** pour les leçons de savoir-vivre;
- À tous **mes amis** qui m'ont toujours couvert de leur affection ;
- À **toute personne** ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, qu'elle trouve ici l'expression de ma reconnaissance sincère.

Table des matières

| | |
|--|------|
| Table des matières | iv |
| Résumé..... | vi |
| Abstract | vii |
| Liste des abréviations..... | viii |
| Liste des figures..... | ix |
| Liste des tableaux..... | x |
| Introduction Générale..... | 1 |
| 1.1 Contexte et justification | 2 |
| 1.2 Objectif générale de l'étude..... | 3 |
| 1.3 Objectifs spécifiques de l'étude | 3 |
| 1.4 Hypothèses d'analyse..... | 3 |
| 1.5 Revue de Littérature..... | 4 |
| 1.5.1 Etude d'impact environnemental (EIE) | 4 |
| 1.5.2 Audit environnemental | 5 |
| 1.5.3 Analyse par cycle de vie | 5 |
| 1.5.4 Analyse du cycle de vie et les traverses de chemin de fer. | 9 |
| 1.6 Quelques termes couramment utilisés en analyse par cycle de vie. | 12 |
| 2.1 Matériels et approche d'étude..... | 13 |
| 2.1.1 Matériels d'étude | 13 |
| 2.1.2 Approche d'étude..... | 13 |
| 2.2 Cycle de vie des traverses de chemin de fer. | 14 |
| 2.2.1 Cycle de vie des traverses en bois Azobé | 14 |
| 2.2.2 Cycle de vie d'une traverse en béton..... | 19 |
| 2.3 Impacts environnementaux (IE) dus aux traverses en bois et en béton..... | 23 |
| 2.4 Energie grise totale nécessaire à la fabrication..... | 23 |
| 2.5 Méthodologie: Frontière et unité fonctionnelle..... | 24 |
| 2.6 Modélisation..... | 25 |
| 2.6.1. Hypothèse de la modélisation..... | 25 |
| 2.6.2. Outil de modélisation : le logiciel Bilan Produit | 26 |
| 3.1. Résultats..... | 29 |
| 3.1.1. Résultats pour une traverse de chemin de fer en bois Azobé. | 29 |

Evaluation comparée de l'impact environnemental des traverses de chemin de fer en bois et en béton utilisées au Cameroun

| | | |
|--------|---|----|
| 3.1.2. | Résultats pour une traverse de chemin de fer en béton. | 35 |
| 3.1.3. | Comparaison des impacts d'une traverse en bois et d'une traverse en béton | 41 |
| 3.2. | Discussion | 43 |
| 4.1. | Intérêt didactique..... | 45 |
| 4.2. | Population ciblée par cette étude..... | 47 |
| | Conclusion Générale | 48 |
| | Références bibliographiques..... | 49 |

Résumé

Ce mémoire traite de l'évaluation comparée de l'impact environnemental des traverses de chemin de fer en bois et en béton utilisées au Cameroun. Cette comparaison a été effectuée suivant le cycle de vie de chaque traverse en considérant la ressource l'extraction à la fin de vie en passant par la production et le transport. Cette comparaison a été implémentée par le logiciel Bilan Produit. Ainsi donc, nous avons pris en compte les propriétés des différents matériaux qui constituent chaque type de traverse étudiée. Nous avons inclus les impacts liés au transport des matières premières du lieu d'exploitation au site de production, puis du lieu de production au site d'utilisation. Nous avons également pris en compte les impacts liés à la production de ces traverses. Nous nous sommes intéressés en plus aux autres matériaux qui entrent dans la fixation sur le site d'utilisation de chaque type de traverse. Les histogrammes ont été ainsi dressés montrant l'indicateur de chaque impact sur l'environnement du Cameroun ; c'est dire que nous avons évalué le niveau de pollution de chaque traverse sur l'environnement. Il en ressort que parmi toutes les phases prise en compte par le logiciel Bilan Produit, la phase de transport est celle qui produit le plus d'éléments de pollution. La pollution causée par les traverses en béton de cette phase est de 2,67 fois supérieure à celle des traverses en bois. Après la phase de transport vient la phase de production qui donne un taux de pollution des éléments en béton de 10,65 fois plus considérable que ceux en bois. La phase d'utilisation est la troisième phase après les deux autres dans laquelle le béton produit 3,54 fois plus d'éléments de pollution que le bois.

Mots clés : impact environnemental, analyse du cycle de vie, traverse en bois, traverse en béton, fin de vie.

Abstract

This thesis deals with the comparative assessment of the environmental impact of wood and concrete railroad ties used in Cameroon. This comparison was performed by life cycle analysis of each railroad from the resource extraction to end life using the software “Bilan Produit”. So, the properties of different railroads materials investigated were including the transport of raw materials to the production sites, followed the utilization sites. We have equally taken into account the impact of components like petrol to start certain engines and electricity to start others. We considered also materials used in the production of each ties and fixation of this ties at the utilization site. The pollution impacts of each railroad ties on the environment in Cameroon were evaluated. It appears that, in all the phases accounted by the software “Bilan Produit”, the transport phase was the one producing the most of pollution, followed by production. The pollution impacts caused by the concrete ties was higher than those of wood ties in all the phase investigated: 2.67 times greater for transport, 10.65 times greater in the production phase and 3.54 times greater in the utilization phase

Keywords: environmental impact, life cycle analysis, railroad tie wood, railroad tie concrete, end of life.

Liste des abréviations

| | |
|-----------|---|
| ACV : | Analyse de cycle de vie |
| CAMRAIL : | Cameroon Railway |
| CV : | Cycle de vie |
| DVT : | Durée Typique de Vie |
| EIE : | Etude de l'Impact Environnemental |
| FAO : | Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture |
| GWP : | Global Warning Potentiel |
| ISO : | Organisation Internationale de Standardisation |
| IE : | Impact environnemental |
| MINEP : | Ministère de l'environnement et de la protection de la nature |
| MJ : | Méga Joule |
| UF : | Unité Fonctionnelle |
| RD : | République Démocratique |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1.1: Brève représentation du cycle de vie d'un produit [Selmes,2005] | 7 |
| Figure 1.2: Extraction du bois dans la forêt [J.C Monin,2003] | 10 |
| Figure 1.3: Image des traverses de chemin de fer monobloc en béton..... | 11 |
| Figure 2.1: Bois d'Azobé [Tropisch,2001]..... | 14 |
| Figure 2.2 : Cycle de vie du sciage de l'Azobé dans la région de l'Est-Cameroun[Nganteu,2014] | 18 |
| Figure 2.3: Cycle de vie d'une traverse en bois d'Azobé..... | 19 |
| Figure 2.4: Extraction des granulats pour le béton [CAMRAIL et al, 2013]. | 20 |
| Figure 2.5: Fixation d'une traverse bi-bloc en béton sous le rail [CAMRAIL et al, 2013] | 22 |
| Figure 2.6 : Unité fonctionnelle pour l'étude. | 25 |
| Figure 3.1: Phase de production | 30 |
| Figure 3.2: Phase de transport | 31 |
| Figure 3.3: Phase d'utilisation..... | 32 |
| Figure 3.4: Fin de vie | 33 |
| Figure 3.5: Impact par phase de vie. | 34 |
| Figure 3.6: Phase de production | 36 |
| Figure 3.7: Phase de transport | 37 |
| Figure 3.8: Phase d'utilisation..... | 38 |
| Figure 3.9: Phase de fin de vie | 39 |
| Figure 3.10: Impacts par phase de vie | 40 |
| Figure 3.11: Comparaison par type de traverse..... | 42 |
| Figure 3.12: Comparaison par différentes phases de vie..... | 42 |
| Figure 1: Exploitation des paramètres physiques dans le Logiciel Bilan Produit..... | 46 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 2-1: Paramètres physiques de l'Azobé [CIRAD-Forêt, 2012]. | 16 |
| Tableau 3-2: Impacts par phase de vie d'une traverse en Azobé.. | 34 |
| Tableau 3-3: Impacts normés par phase de vie d'une traverse en Azobé | 35 |
| Tableau 3-4: Impacts par phase de vie d'une traverse en béton..... | 40 |
| Tableau 3-5: Impacts normés par phase de vie d'une traverse en béton..... | 41 |

Introduction Générale

À l'accession du Cameroun à l'indépendance le 1^{er} janvier 1960, le nouvel État Camerounais avait hérité d'un réseau de chemin de fer à voie unique de 517 kilomètres. Conscient de l'importance du chemin de fer dans le développement, le Cameroun a continué d'agrandir son réseau ferroviaire en continuant d'utiliser le bois comme matériau de base de production des traverses de chemin de fer. Aujourd'hui, CAMRAIL assure le transport des personnes et des marchandises sur un réseau ferré long de 1000 km. Dans l'optique de la modernisation du chemin de fer Camerounais, CAMRAIL ambitionne de fabriquer 290 000 traverses en béton armé bi-blocs et de produire 245 000 mètres cubes de Ballast, destinés à la rénovation de 175 km de voie entre Batchenga et Ka'a [Camrail et al, 2014]. C'est dire que deux gammes de traverses de chemin de fer sont dorénavant utilisées au Cameroun. On en est droit de se poser la question de savoir si l'exploitation des ressources naturelles se fait en tenant compte des générations futures. Quels sont les dommages et les impacts liés aux grands projets ferroviaires sur l'environnement du Cameroun ? Les ressources consommées sont-elles renouvelables ? Nous essayerons de répondre à ces questions en nous intéressant aux traverses de chemin de fer qui ont pour rôle de maintenir l'écartement et l'inclinaison des rails. Pour cela, il sera question de mener une étude évaluative comparée de l'impact environnemental des traverses de chemin de fer en bois et en béton dans le but de ressortir celles qui respectent au mieux l'environnement.

L'Etude d'Impact Environnemental (EIE) est régie au Cameroun par la loi cadre du 05 août 2005. Elle prévoit des impacts potentiels pouvant subvenir lors de la réalisation d'un projet et les mesures d'atténuation de ces derniers sans toutefois les quantifier. L'Analyse par Cycle de Vie qui est un outil quantitatif des impacts environnementaux des produits et services sera utilisée dans la présente étude. Cette étude sera organisée comme suit :

- Chapitre 1 : Revue de la littérature
- Chapitre 2 : Approche et méthodologie d'étude
- Chapitre 3 : Résultats et discussion
- Chapitre 4 : Implication dans le système éducatif et enfin une
- Conclusion générale.

CHAPITRE 1. REVUE DE LA LITTERATURE

1.1 Contexte et justification

Le Cameroun, pays de l'Afrique Centrale, d'une superficie de 475442 Kilomètres carré et une population estimée en Janvier 2010 à 19,4 millions d'habitants dispose 23,9 millions d'hectares de forêt dense humide. Il a été classé par la FAO au 15e rang mondial des pays ayant subi le plus de déforestation entre 1990 et 2005 (2005, FAO) avec environ 400000 ha de superficie forestière déboisée. La satisfaction des besoins de développement en vue d'une émergence plausible est à l'origine de cette déforestation. Le réseau ferroviaire est l'un des points essentiels où le bois est suffisamment investit. En effet, le Cameroun avait hérité de 517 km (Douala-Eséka-Yaoundé et Douala-Nkongsamba) de chemin de fer à voie unique de la France et de l'Allemagne le 1^{er} Janvier 1960 [Camrail et al, 2014]. Après les indépendances, le réseau se développe jusque dans l'Adamaoua (ligne Yaoundé-Ngaoundéré) puis à l'Ouest (ligne Mbang-Kumba).

L'avancée technologique étant évidente de nos jours, de nouvelles inspirations se font enregistrer en ce qui concerne le réseau ferroviaire partout ailleurs et au Cameroun également. En effet, le bois n'est plus la seule matière exploitable. De nos jours, le béton sert aussi à la fabrication des traverses de chemin de fer au Cameroun. Nous allons donc nous focaliser sur ces deux gammes de traverses de chemin de fer répandues au Cameroun pour une étude minutieuse et comparative de leurs impacts environnementaux. La réalisation de cette étude trouve son fondement dans plusieurs textes de lois dont les plus pertinents sont :

- La loi cadre à la gestion de l'environnement N°96/012 du 05 aout 1996 qui stipule en son article 17 dispose que « le promoteur ou maitre d'ouvrage de tout projet d'aménagement, d'équipement ou d'installation qui risque en raison, de sa dimension, sa nature ou des incidences des activités qui sont exercées sur le milieu naturel, de porter atteinte à l'environnement est tenu de réaliser, selon les prescriptions du cahier des charges, une étude d'impact permettant d'évaluer les incidences directes ou indirectes dudit projet sur l'équilibre écologique de la zone d'implantation ou de toute autre région, le cadre et la qualité de vie des populations et des incidences sur l'environnement en général »

- L'arrêté N°0070/MINEP du 22 avril 2005 fixant les catégories des opérations dont la réalisation est sujette à une étude d'impact sur l'environnement.
- Le décret N°2005/0577/PM du 23 février 2005 fixant les modalités de réalisation des études d'impact sur l'environnement.

1.2 Objectif générale de l'étude

L'objectif général de cette étude est d'examiner au travers de leurs impacts sur l'environnement, les différences entre les traverses en bois et les traverses en béton, en se basant sur toutes les activités allant de la construction sur site y compris la maintenance jusqu'à la fin de vie ou l'élimination. Elle vise à mesurer l'équilibre écologique, économique et social des zones du Cameroun où le chemin de fer est bâti. Elle devra également permettre à CAMRAIL et ses sous-traitants d'optimiser dans la réalisation de choix des traverses de chemin de fer à implanter dans le Cameroun tout en répondant aux normes environnementales.

1.3 Objectifs spécifiques de l'étude

Pour atteindre l'objectif général de cette étude, il est stratégique de passer par les objectifs spécifiques parmi lesquels :

- L'identification des impacts environnementaux des traverses de chemin de fer en bois au Cameroun durant leur cycle de vie, c'est-à-dire de l'extraction en passant par l'utilisation jusqu'à la fin de vie.
- De même nous allons nous appesantir sur les impacts environnementaux des traverses de chemin de fer en béton pendant leur cycle de vie au Cameroun.
- L'identification et l'évaluation des impacts se feront par des méthodes appropriées tels que l'analyse par cycle de vie qui est une méthode d'aide à la décision pour les autorités publiques, voire privées.

Notre travail aidera donc les autorités publiques et privées à intégrer les impacts environnementaux dans les prises de décisions quant à l'utilisation des traverses de chemin de fer au Cameroun.

1.4 Hypothèses d'analyse

Une **traverse** est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous les rails, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre

au **ballast** les charges des véhicules circulant sur les rails. On utilise principalement les traverses en **bois** ou en **béton** au Cameroun.

- a) L'étude portera sur l'impact environnemental des traverses en bois d'Azobé ayant chacune les dimensions suivantes : 2,5m de long, 25cm de large et 15cm d'épaisseur (Michel Durochat et al, 2013).
- b) L'étude portera sur l'impact environnemental des traverses en béton, les bi-blocs pour plus de précisions. Elles sont formées de deux blocs de béton (27cmx29cmx21cm), les blochets, reliés par une entretoise métallique (90cmx0.8cmx5.5cm), qui absorbe les efforts au milieu de la traverse. Nous utiliserons celles qui ont chacune les dimensions totales suivantes : 2.25m de long, 29cm de largeur et 21cm d'épaisseur (Michel Durochat et al, 2013).
- c) Les matières premières pour les traverses en bois seront supposées être exploitées dans la région administrative de l'Est-Cameroun, et celles pour les traverses en béton proviennent du fleuve Sanaga en ce qui concerne le sable, le ciment de Littoral-Cameroun, le gravier de la carrière d'Ebaka.

1.5 Revue de Littérature

Emerger, vivre dans les conditions meilleures, nécessite la mobilisation des ressources naturelles parfois renouvelables ou non renouvelables et technologiques. Elle ne se fait pas sans dégâts sur l'environnement. Plusieurs outils environnementaux évaluent ces dégâts, permettant ainsi de mieux les contrôler et les gérer. Ces outils environnementaux sont : l'étude d'impact environnemental, l'audit environnemental et l'analyse par cycle de vie.

1.5.1 Etude d'impact environnemental (EIE)

C'est un outil utilisé pour évaluer les impacts potentiels pouvant survenir lors de la réalisation ou la mise en œuvre d'un projet pendant ses différentes phases. Cet outil est beaucoup plus juridique.

1.5.2 Audit environnemental

Cet outil concerne les grandes entreprises et les petites et moyennes entreprises qui ont été créées sans aucune étude d'impact environnemental préalable et qui se doit donc d'être faite pendant qu'elles fonctionnent. Ces deux outils juridiques sont ceux reconnus au Cameroun à travers la loi Cadre sur l'environnement du 05 août 1993.

1.5.3 Analyse par cycle de vie

- **Présentation**

Les débuts : « de l'écobilan à l'ACV »

La prise en compte de l'environnement a été traditionnellement déclinée par plusieurs secteurs d'activités (industries, transports. . .) qui se sont souvent révélées trop parcellaires pour justifier le bien-fondé environnemental des efforts à réaliser. La diminution de tel ou tel impact modifiait les autres caractéristiques des systèmes considérés, sans que l'on puisse évaluer la pertinence globale de ces modifications : par exemple un changement de matériau permettant de diminuer les consommations d'énergie et de matières mais modifiant la recyclabilité finale des produits, le choix d'une filière de valorisation permettant de diminuer le recours à la mise en décharge mais affectant la qualité de l'air. . .

Au début des années 90, est apparue la nécessité de mettre en œuvre des approches multicritères (consommation de matière et d'énergie, émissions dans l'air et dans l'eau, déchets), prenant en compte l'ensemble des étapes du cycle de vie des produits, de leur fabrication à leur élimination finale en passant par leur phase d'utilisation : les écobilans. A leurs débuts, ces approches ont été qualifiées d'expérimentales voire partiales (écobilans menés à des fins exclusives de marketing ou de lobbysme). Par la suite, le développement de la normalisation internationale (famille des normes ISO 14040) a fixé des bases méthodologiques et déontologiques et retenu le terme «Analyse de cycle de vie » (ACV) en lieu et place d' « écobilan » (nom d'une société commerciale française à l'origine). Depuis 1997, les pratiques se sont progressivement harmonisées et les résultats sont ainsi devenus plus robustes et plus fiables tandis que leur communication se faisait de manière plus formalisée que celle des premiers écobilans.

- **Le rôle de l'ACV**

L'ACV est un outil qui permet de prendre en compte l'ensemble du cycle de vie des produits, de leur fabrication à leur élimination finale en passant par leur phase d'utilisation. Avec ses origines dans les années 1960 [Selmes, 2005], l'ACV est devenue une méthode largement utilisée au cours des deux dernières décennies pour mieux comprendre l'impact du CV (cycle de vie) des produits sur les communautés locales et mondiales. L'ACV est un outil reconnu internationalement pour l'évaluation de l'Impact Environnemental des produits, des processus et des activités.

Elle prend en compte :

- L'extraction des matières premières (bois, minéraux, eau, sable, etc.)
- La transformation de ces matières premières en énergie ou en sous composants de produit (traverse en bois, barre en acier, substances chimiques, etc.)
- L'assemblage des sous composants en produit fini (par exemple le papier ciment)
- L'utilisation du produit pendant une durée déterminée (par exemple : 25 ans pour une traverse, 3 ans pour un ordinateur)
- L'élimination du produit, soit par destruction (incinération), soit par stockage (décharge), et éventuellement
- Le recyclage de matériaux pour en faire de nouveaux produits.

Au cours ces différentes étapes, des polluants vont être émis dans l'air, l'eau, le sol et pourront avoir un impact négatif sur l'environnement. L'ACV est donc nécessaire pour réduire l'empreinte environnementale d'un produit ou d'un service, pour identifier les opportunités d'optimisation d'un système, pour faire un choix entre deux options, ou pour faire une déclaration environnementale de produit, afin de communiquer ses performances environnementales aux consommateurs. L'analyse par cycle de vie permet donc de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les différences entre deux processus de fabrication du même produit en termes d'utilisation des ressources et d'émissions?
- Quelles sont les vulnérabilités et les opportunités liées à la production de mon produit?
- Comment améliorer l'impact global du produit ? Quelles sont les phases du cycle de vie qui contribuent le plus à l'impact total du produit ?

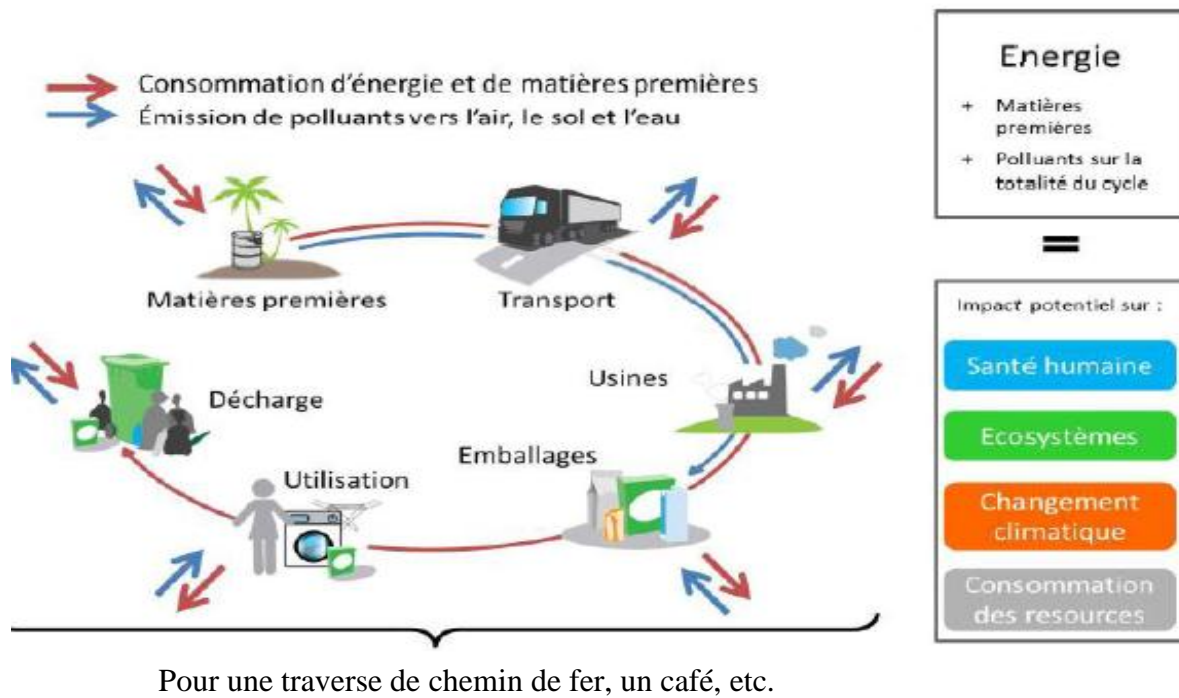


Figure 1.1: Brève représentation du cycle de vie d'un produit [Selmes, 2005]

• Les normes

L'ACV est une approche rigoureuse régie par les normes de la série ISO 14040 (International Standard Organisation) [ISO 14040,1997] qui comporte quatre phases distinctes, à savoir :

- la définition des objectifs et du champ de l'étude,
- l'analyse de l'inventaire,
- l'évaluation des impacts
- la phase d'interprétation.

La définition des objectifs et du champ d'étude.

Elle a pour but de déterminer les objectifs de l'étude et de circonscrire les limites du champ d'étude, que l'on appellera ici « système ». Un point important de cette phase consistera à définir « l'unité fonctionnelle » à la base de l'étude.

Analyse de l'inventaire

Elle consiste à quantifier tous les flux entrants et sortants du système à étudier, à l'aide de bases de données très détaillées. Ces bases de données sont issues de sources privées, gouvernementales ou universitaires. Certaines de ces bases sont disponibles dans les logiciels d'analyse de cycle de vie parmi lesquels : GaBi (PE Europe GMBH, l'Allemagne) ; Sima Pro (PRé Consultants, Pays-Bas) ; TEAM (Éco-Balance, France-USA), Bilan produit que nous utiliserons pour cette étude. L'analyse de l'inventaire permet de répondre aux questions suivantes :

- Quelle quantité d'énergie est requise pour produire, distribuer et disposer du produit ?
- Quelles substances sont consommées durant les étapes de la vie du produit ?
- Quels sont les coproduits, déchets et polluants émis dans l'environnement (eau, air et sol) ?

L'évaluation des impacts

Elle a pour but de déterminer les objectifs de l'étude et de circonscrire les limites du champ d'étude, nous commencerons par définir l'unité fonctionnelle(UF). **L'unité fonctionnelle** est l'unité de référence dans une analyse de cycle de vie. Elle comporte trois valeurs : la quantité, la fonction et le temps, aussi appelé la durée de vie typique (DVT : C'est la durée de vie estimée d'un matériau ou d'un bâtiment.). C'est un élément de mesure qui permet de quantifier la fonction remplie par le produit étudié. Cette unité permet de comparer différents produits rendant un service similaire. Elle est définie avec précision à partir de l'objectif de l'étude, de son utilisation et de l'usage des produits. Elle permet de prendre à la fois en compte une unité de produit et une unité de fonction.

L'évaluation des impacts consiste à exprimer les impacts des différents flux de matière et d'énergie estimés à la phase précédente (analyse de l'inventaire). Il s'agit d'effectuer une analyse qualitative et quantitative de ces impacts. Selon la norme ISO 14042 [ISO 14042,1999], dix catégories d'impacts sont généralement considérées dans une ACV :

- Le réchauffement de la planète (GWP) ;
- La destruction de l'ozone stratosphérique (ODP) ;
- La formation d'agent photo-oxydant (smog) (POCP) ;
- L'acidification (AP) ;
- L'eutrophisation (EP) ;

- L'impact éco toxicologique ;
- L'impact toxicologique chez les humains ;
- L'impact des ressources abiotiques ;
- L'utilisation des ressources biotiques ;
- L'utilisation des terres.

Les résultats de cette analyse sont généralement présentés sous forme graphique, ce qui permet de repérer rapidement les étapes du cycle de vie qui posent un problème et de concentrer les efforts d'amélioration sur ces étapes.

L'interprétation des impacts

En plus d'évaluer la qualité des résultats, cette étape (ISO-14043) permet l'analyse des possibilités en termes de réduction des impacts environnementaux et d'accroissement du rendement économique d'un produit ou d'un service par une utilisation plus efficace de l'énergie et une réduction ou une substitution de matières premières et secondaires. Ainsi, cette phase permet, entre autres, de répondre aux questions suivantes :

- Est-ce que la quantité de polluants émise dans l'environnement peut être réduite ?
- Est-ce que le produit peut être réutilisé, recyclé ou transformé ?
- Est-ce que l'énergie peut être récupérée ?
- Est-ce que le produit peut être fabriqué à partir de matières premières et secondaires moins polluantes ?

1.5.4 Analyse du cycle de vie et les traverses de chemin de fer.

La diversité grandissante des différents matériaux utilisés pour la fabrication des traverses de chemin de fer tels que le bois, le béton, l'acier, poussent de plus en plus à s'interroger sur les différents impacts sur l'environnement que peut avoir chaque type de matériau.



Figure 1.2: Extraction du bois dans la forêt [14]

Il a été montré que 900 000 traverses en bois sont changées chaque année par la SNCF (Société Nationale des Chemins de Fer). 10 000 tonnes sont cédées à la société Sidénergie qui les transforme en charbon de bois (source: Le Figaro). Le reste est réutilisé ou revendu à des entreprises spécialisées qui ne peuvent s'en servir ou les revendre que pour un usage très réglementé, à savoir : les murs antibruit, les pare-avalanches, les retenues de terre et les glissières de sécurité.

Les traverses en bois sont encore celles les plus utilisées dans le monde. Traditionnellement elles sont en bois dur (chêne ou plus rarement en hêtre). Le bois est apprécié pour sa résistance et sa flexibilité, pour sa facilité de mise en œuvre. Mais de durée de vie réduite (20 à 30 ans) car peut pourrir. Il doit alors - pour cet usage - être imprégné sous pression d'un pesticide (puissant insecticide et fongicide): **la créosote**.

Pour éviter l'apparition de fentes liées aux successions de périodes humides et sèches, on peut cercler les têtes de traverses à l'aide de feuillards métalliques, c'est le *fretage*. En France, depuis 2002, le Décret n° 2002-540 du 18 avril 2002, portant sur la classification des déchets (article 2) inclut clairement les traverses en bois imprégnées à la créosote dans la

catégorie des « *déchets dangereux* » (ou assimilés à un déchet industriel spécial), notamment en raison du caractère cancérogène (Cf. annexe II du décret, pour des produits signalés par un astérisque) de molécules présentes dans la créosote. Les traverses réutilisées ou valorisées relèvent notamment de la rubrique 17 02 04* (« *Bois, verre et matières plastiques contenant des substances dangereuses ou contaminés par de telles substances* »).

Les traverses en bois Azobé en général se développent largement en Afrique et dans le monde. En raison de leur caractère imputrescible, elles ne sont généralement pas traitées à la créosote ce qui est un avantage.

Les traverses en béton sont de plus en plus adoptées en raison de leur durabilité. L'utilisation des traverses en béton est en nette augmentation, tant à cause de leur qualité intrinsèque que pour le prix élevé des traverses en bois. Les traverses en béton, par leur poids important, assurent un bon ancrage de la voie dans le ballast. Elles sont en particulier utilisées pour les lignes nouvelles à grande vitesse.

Au Cameroun, le 31 août 2013, a été inaugurée la carrière d'Ebaka dans la région de l'Est. En effet, comme l'a relevé le Président du Conseil d'Administration, M. Hamadou Sali, la "carrière d'Ebaka permet à l'entreprise (Bolloré) de disposer d'une autonomie en matière d'approvisionnement en ballast, et dans la fabrication des traverses en béton armé bi-blocs". A partir de cette carrière dont le potentiel d'exploitation est estimé à 1,8 million de tonnes, "CAMRAIL ambitionne de fabriquer 290 000 traverses bi-blocs et de produire 245 000 mètres cubes de Ballast, destinés à la rénovation de 175 km de voie entre Batchenga et Ka'a. Le coût des investissements pour la mise sur pied de cette carrière est évalué à 2,4 milliards de Fcfa (CAMRAIL et al).



Figure 1.3: Image des traverses de chemin de fer monobloc en béton

1.6 Quelques termes couramment utilisés en analyse par cycle de vie.

« **Du Berceau à la tombe** » : décrit tous les processus par lesquels un produit ou un composant passe, de l'extraction des matières premières, à l'élimination finale. Le produit n'a aucune valeur résiduelle à la fin de vie.

« **Du berceau à la porte** » : décrit les impacts associés aux produits, matériaux ou processus jusqu'au point où ils sont conditionnés et prêts pour la livraison sur place.

« **Du berceau au site** » : décrit les impacts associés avec les fournisseurs (matières premières), le transport centre, la fabrication, l'emballage, le transport et la fabrication sur site. Dans le cas des impacts de la construction, ce serait également tout traitement requis sur le site pour effectuer l'utilisation du produit ou du composant.

« **Du berceau au berceau** » semblable au berceau à la tombe, mais suppose qu'un composant obsolète a une la valeur résiduelle à la fin de sa première vie. Cette expression suppose que les déchets de construction peuvent être recyclés et utilisés pour fournir des matières premières pour la ré-fabrication du même produit ou de produits nouveaux et différents.

CHAPITRE 2. MATERIELS ET METHODES

Le secteur de la construction est le plus grand consommateur de matières à l'échelle mondiale avec une consommation de près de six tonnes de matières par personne par année [4]. L'énergie est nécessaire pour construire les trafics ferroviaires à travers l'extraction, la transformation des matières premières, la fabrication de produits et des composants pendant la construction, le transport des matériaux et des produits pour le site, pour l'entretien et/ou l'élimination des matériaux. L'un des composants majeurs d'un chemin de fer est l'ensemble des traverses qui le constitue. Les deux gammes de produits les plus utilisées au Cameroun dans la fabrication de ces traverses sont le bois et le béton qui feront l'objet de notre étude.

2.1 Matériels et approche d'étude

2.1.1 Matériels d'étude

Le matériel d'étude est constitué :

- Du logiciel Bilan Produit, développé par le département des Sciences de la Terre et de l'Environnement de l'Université de Cergy-Pontoise qui nous permettra de calculer les différents impacts.
- De Google Map, qui permet d'obtenir les distances sur la carte d'un pays.
- Un P.C équipé des logiciels de traitement de texte.

2.1.2 Approche d'étude

L'analyse par cycle de vie (ACV) est la méthode d'évaluation des impacts des produits et des procédés sur l'environnement pendant tout leur cycle de vie que nous avons choisi parmi plusieurs autres. C'est l'un des outils de gestion de l'environnement les plus disponibles actuellement [5].

Comme nous l'avons précisé au chapitre précédent, les matières premières pour la fabrication des traverses en bois sont supposées être extraites dans la Région de l'Est, les matières premières pour les traverses en béton proviennent du fleuve Sanaga en ce qui concerne

le sable, le ciment de l'Extrême Nord Cameroun et Centre-Cameroun et le gravier de la carrière d'Ebaka.

2.2 Cycle de vie des traverses de chemin de fer.

2.2.1 Cycle de vie des traverses en bois Azobé

Le bois se compose principalement de la cellulose, de la lignine et d'autres substances organiques telles que les protéines, les sucres, la résine et de l'eau. La composition de ces substances est différente selon le type d'arbres ou d'essences.

2.2.1.1 Propriétés du bois Azobé.



Figure 2.1: Bois d'Azobé [Tropisch, 2001].

Provenance

L'Azobé est un bois d'Afrique. Azobé, est la dénomination commerciale de l'espèce botanique *Lophira alata* ou *lophira procera* (synonyme) et appartient à la famille des OCHNACEAE (angiosperme). Il provient de la forêt tropicale humide sempervirente de presque tous les pays d'Afrique centrale et occidentale (dont la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Nigéria, le Cameroun, la République centrafricaine, la RD du Congo, le Congo-Brazzaville) [Tropisch, 2001].

Description

Connu sur la dénomination okoga ou bongossi au Cameroun, l'Azobé a une hauteur d'environ 40 m (maximum 50 m), avec une partie nue du tronc de 25 à 30 m qui est souvent légèrement ovale et quelque peu courbé. Le diamètre mesure jusqu'à 1,5-1,8 m et le collet est généralement quelque peu gonflé. C'est un bois de type feuillu et de grain grossier.

Le duramen frais est de couleur rouge-brune (voir figure 2.1) qui évolue vers le rouge foncé et le brun chocolat, ou parfois vers un brun-rouge foncé violacé. Dans les pores, l'Azobé a des composants typiques de couleur blanche ou jaune. En général, la structure est assez régulière. A cause du contrefil, on peut apercevoir des bandes alternativement claires et obscures sur quartier. Sur dosse, on aperçoit un vague motif rayé à cause de la différence de couleur entre la fibre et le tissu parenchyme. Entre le duramen et l'aubier, l'Azobé frais a souvent un cerne de bois de transition d'une largeur de 80 à 120 mm et de couleur plus claire. Lorsqu'il est sec, ce bois qui n'est pas encore entièrement duramenisé aura la même couleur que le duramen. Ce bois de transition est moins durable que l'autre duramen. L'aubier, dont la largeur s'étend jusqu'à 50 mm, est clairement circonscrit et a une couleur nettement plus claire que le duramen.

Durabilité

L'Azobé est très durable (classe 1) dans de l'eau (douce). Le bois de transition entre le duramen et l'aubier a la classe de durabilité 2 (test selon ENV 807, méthode 2). Eclaircissement: en 2002-2003, SHR Houtresearch Wageningen a fait des recherches au sujet de la classe de durabilité naturelle de cette essence sur l'ordre d'un groupe de négociants en bois d'Azobé. Sur la base des résultats, le duramen d'Azobé peut être classifié dans la classe de durabilité 1/2, et le bois de transition dans la classe 2. L'examen a été exécuté conformément aux méthodes de test européennes fixées dans ENV 807, méthode 2. Les dernières années, c'est la méthode la plus utilisée pour déterminer la durabilité naturelle d'essences « nouvelles » contre les champignons en contact avec le sol. Les valeurs des tests exécutés selon ENV 807, méthode 2,

donnent une idée de la durabilité de l'essence en contact avec le sol. Puisque nous ne disposons pas encore d'une traduction officielle vers la durabilité naturelle comme citée dans les normes NEN-EN 350-1 et NEN-EN 350-2, les valeurs selon ENV 807 méthode 2, les valeurs tests exécutés selon ENV 807 peuvent uniquement être comparées entre elles.

Séchage et taux d'humidité

Très lent au séchage, il est conseillé de protéger les extrémités de bout contre des fentes en bout. Il faut également faire attention à ce qu'il ne se forme pas de fentes latérales. Lors du séchage, l'Azobé se déforme généralement (ceci vaut pour le bois ayant des dimensions minces). Vu les applications de l'Azobé, le séchage aura souvent lieu « dans le travail », suite à quoi le problème mentionné ci-dessus peut naître en cas de manque d'attention prêtée.

Nécessité d'un traitement de préservation

Contre des attaques d'insectes de bois secs ou en cas d'humidification temporaire ou permanent: ce bois ne nécessite pas un traitement de préservation.

Tableau 2-1: Paramètres physiques de l'Azobé [CIRAD-Forêt, 2012].

| Indications | Moyenne | Écart-type |
|--|-----------|------------|
| Densité. | 1,06 | 0,04 |
| Dureté. | 10,7 | 2,7 |
| Contrainte de rupture en compression | 96 MPa | 6 MPa |
| Contrainte de rupture en flexion statique. | 162 MPa | 21 MPa |
| Module d'élasticité longitudinal. | 21420 MPa | 3539 MPa |

Sciage et usinage

L'Azobé est facile à usiner, tant machinalement que manuellement. Il est toutefois conseillé lors du rabotage d'utiliser un angle de coupe réduit pour éviter l'éclatement des fibres et vaincre ainsi les difficultés liées au contrefil (cf. contrefil). Son sciage nécessite de la puissance et bien plus, le sciage par retournement est conseillé (tensions internes). La denture pour le sciage sera la denture stellite. L'effet désaffûtant de ce bois est important et l'outil d'usinage est à base de carbure de tungstène.

Assemblage

Les propriétés de collage sont variables. Le collage nécessite du soin (bois sec et bon état de surface) car le bois est très dense. Le collage de ce bois est correct (intérieure seulement) le clouage et vissage nécessite des avant-trous pour une bonne tenue.

2.2.1.2 Utilisation de l'Azobé.

L'Azobé possède plusieurs utilisations parmi lesquelles :

- Les parquets (Lourds ou industriels),
- Les escaliers (intérieurs),
- Les traverses,
- Les piquets,
- Ponts (parties non en contact avec le sol ou l'eau),
- Poteaux,
- Charpente lourde,
- Fond de véhicule ou conteneur,
- Travaux hydrauliques.
- Constructions des pianos,
- Porte intérieure
- Aménagement extérieure.

Ces différentes utilisations de l'Azobé ne se font pas sans effets sur l'environnement. Pour mieux cerner ces impacts sur l'environnement, il convient de maîtriser leurs cycles de vie.

2.2.1.3 Cycle de vie d'une traverse en Azobé

Il est nécessaire de présenter le cycle de vie du sciage de cette essence dans la région de l'Est-Cameroun d'une part et d'autre part de présenter le cycle de vie d'une traverse en bois d'Azobé.



Figure2.2 : Cycle de vie du sciage de l'Azobé dans la région de l'Est-Cameroun [NGANTEU, 2014]

Le cycle de vie d'une traverse de chemin de fer en bois Azobé peut être concilié dans le croquis ci-après.

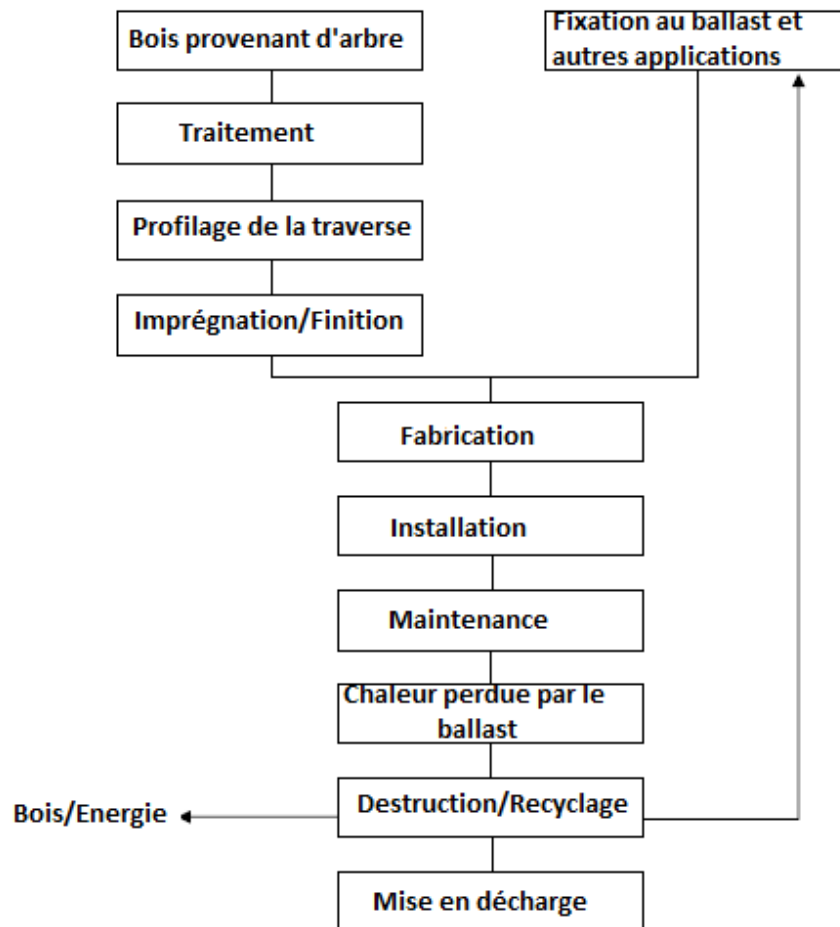


Figure 2.3: Cycle de vie d'une traverse en bois d'Azobé.

2.2.2 Cycle de vie d'une traverse en béton.

Le béton est un produit issu de l'assemblage selon un dosage précis de plusieurs composantes (minerais : gravier, sable...) que l'on utilise de plus en plus dans le trafic ferroviaire au Cameroun.

L'idée de fabriquer des traverses de chemin de fer en béton armé n'est pas nouvelle puisqu'en 1880 Monier présentait déjà un projet pour des traverses en béton. En 1904, l'Ingénieur Maillart signalait aussi cette possibilité à une assemblée de la SIA, alors qu'en 1900 en Italie et en 1902 aux Etats-Unis, on avait fait des essais pratiques avec des traverses en béton [Bulletin du ciment, 1943]. Les avantages du béton armé semblaient justement prédestiner ce matériau à un tel usage parce qu'il est très durable, économique, facile à mouler et qui possède

encore la faculté de s'adapter aux sollicitations particulières du trafic sur rails. Pour des raisons techniques et économiques, la traverse en béton ne fut toutefois adoptée que dans les pays pauvres en bois et en fer. En Suisse, l'électrification a nécessité le renforcement de la superstructure (pression plus grande des roues, vitesses accrues) et de ce fait a donné une nouvelle impulsion à l'étude de la traverse en béton.

2.2.2.1 Fabrication du béton.



Figure 2.4: Extraction des granulats pour le béton [CAMRAIL et al., 2013].

Le béton est constitué du ciment, de l'eau, du sable et de granulats, malaxés pour obtenir un mélange parfait. Les masses volumiques des composants vont de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³. Les dimensions des grains vont du micron à plusieurs centimètres. La pâte de ciment est la matrice qui amalgame les inclusions que sont les granulats [MORANVILLE,1997]. Sa masse volumique est de 2830kg/m³.

Un béton contient :

- eau : 14 à 22 % en volume ou 5 à 9 % en masse,
- ciment : 7 à 14 % en volume ou 9 à 18 % en masse,
- granulats : 60 à 78 % en volume ou 63 à 85 % en masse.

La composition d'un béton, pour une structure déterminée, tient compte des résistances mécaniques recherchées, de l'agressivité de l'environnement, des formes architecturales.

2.2.2.2 Durabilité du béton.

Une structure en béton est généralement exposée à l'action simultanée de facteurs externes qui affectent sa durabilité. Les dégradations peuvent être d'ordre mécanique (surcharges, chocs, abrasion, fatigue), physique (cycles gel-dégel, incendies), chimique et biologique.

Les signes extérieurs de détérioration, dans les quatre cas cités, apparaissent sous forme de fissuration, érosion, cavitation, écaillage, expansion, éclatement. Ils sont observés sur des ponts, des quais, des centrales hydroélectriques, des sols de parking, des murs de soutènement, des traverses de chemin de fer, des barrages, des canalisations d'égout. [Bulletin union des physiciens 1958]

Les environnements agressifs vis-à-vis du béton peuvent être liquides (eau de mer), solides (sols gypseux), gazeux (air pollué). Une nomenclature des substances agressives a été établie par la commission RCA (Resistance of Concrete to Chemical Attack). Elle comprend :

- eau douce,
- acides minéraux et organiques,
- bases minérales et organiques,
- sels minéraux et organiques,
- huiles végétales et animales,
- bactéries, algues, micro-organismes.

Les sollicitations d'une traverse de chemin de fer sont extrêmement compliquées. La traverse doit:

- a) répartir la pression en résistant elle-même à la compression et transmettre la charge concentrée de la roue à une grande partie du ballast; sa forme est donc déterminante;
- b) être à la fois rigide et élastique pour assurer la position de la voie et la distance des rails;
- c) avoir d'excellentes résistances à la flexion et cisaillement pour supporter les effets provoqués par le bourrage inégal du ballast, la compressibilité variable du sol, etc. ...;

- d) avoir pour les mêmes raisons et à cause de la répartition inégale des ondes qui précèdent le convoi une résistance suffisante à la torsion
- e) présenter une résistance aux chocs et à la fatigue (endurance) aussi élevée que possible;
- f) posséder en outre une bonne capacité d'adhésion au ballast et
- g) garantir l'entière sécurité du trafic.

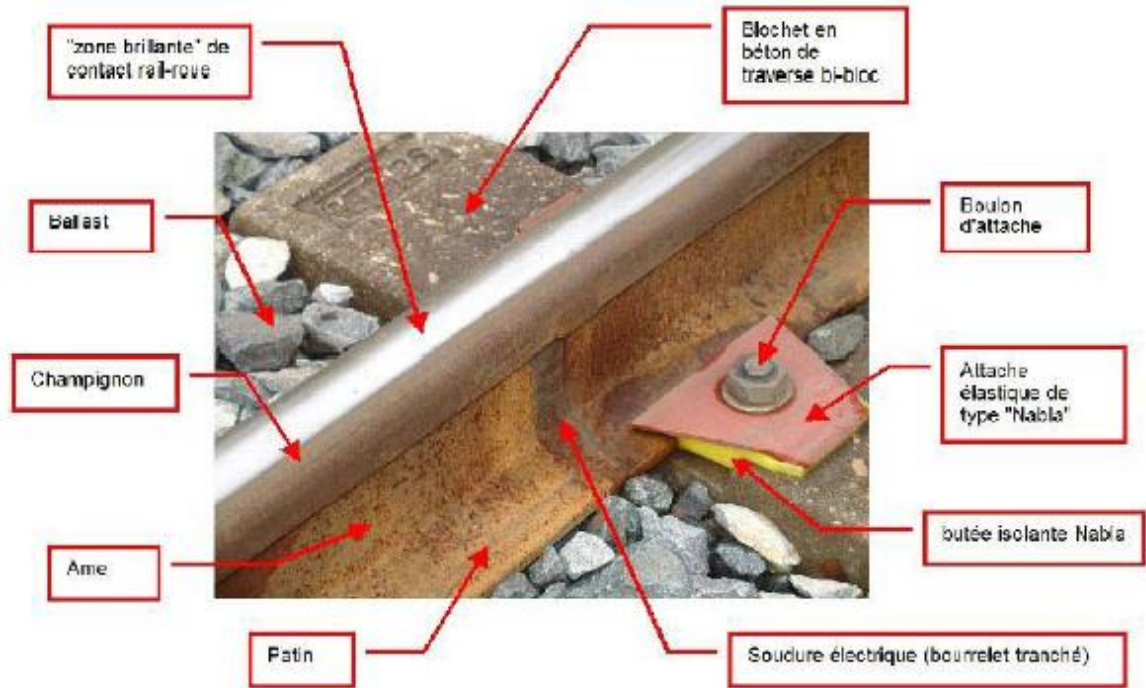


Figure 2.5: Fixation d'une traverse bi-bloc en béton sous le rail [CAMRAIL et al.]

Des problèmes particuliers sont posés par la fixation du rail à la traverse, les joints (assemblage des rails), l'amortissement des chocs entre le rail et la traverse, la pose et le remplacement des traverses, le réglage de la voie, la fabrication en série et le contrôle des traverses.

Il n'est pas étonnant qu'avec le nombre de ces exigences et conditions spéciales, la traverse en béton armé n'ait pu se développer que grâce à de nombreux essais et études, et qu'elle présente encore des possibilités d'améliorations variées.

2.3 Impacts environnementaux (IE) dus aux traverses en bois et en béton.

Au regard des différents cycles de vie que nous avons évoqué ci-dessus, plusieurs impacts environnementaux sont enregistrés :

1. **Gaz à effet de serre** : Les gaz (comme le dioxyde de carbone, le méthane, la vapeur d'eau, l'oxyde nitreux, l'ozone et les halocarbures) qui emprisonnent la chaleur du soleil ; mesurés en kilogrammes de dioxyde de carbone ;
2. **Appauvrissement de la couche d'ozone** : catalyseurs de radicaux libres (y compris l'oxyde nitrique, l'hydroxyle, le chlore atomique et le brome atomique) qui peuvent nuire à la couche d'ozone, laquelle protège la terre des rayons ultraviolets. Mesuré en grammes de trichlorofluorométhane ;
3. **Acidification** : Les substances comme le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote produites par la combustion de combustibles fossiles, qui contribuent aux dépôts acides (pluies acides) ;
4. **Eutrophisation** : L'augmentation des éléments nutritifs chimiques d'un écosystème par des composés contenant de l'azote ou du phosphore, qui peut mener à une croissance excessive de plantes et à une putréfaction, à une réduction en oxygène et à une grave réduction de la qualité de l'eau et des populations de poissons et d'animaux ; mesurée en grammes de phosphate ;
5. **Métaux lourds** : métaux ayant une masse atomique relativement élevée comme le plomb, le mercure, le chrome et le cadmium et qui peuvent être toxiques à de faibles concentrations ; deux produits qui ne sont pas des métaux, l'arsenic et le sélénium, sont aussi considérés comme des métaux lourds ;
6. **Cancérogènes** : substances ou radiations directement responsables de la croissance du cancer. Mesurés en grammes de benzopyrène.

2.4 Energie grise totale nécessaire à la fabrication.

L'énergie grise correspond à la somme de toutes les énergies nécessaires à la production, à la fabrication, à l'utilisation et enfin au recyclage des matériaux ou des produits industriels. En théorie, un bilan d'énergie grise additionne l'énergie dépensée lors :

- De la conception du produit ou du service,
- De l'extraction et du transport des matières premières,
- De la transformation des matières premières et de la fabrication du produit ou lors de la préparation du service,
- De la commercialisation du produit ou du service,

- De l'usage ou de la mise en œuvre du produit ou lors de la fourniture du service,
- De l'entretien, des réparations, des démontages du produit dans son cycle de vie,
- Du recyclage du produit.

Les traverses en bois et celles en béton ont été évaluées pour leur énergie intrinsèque. Il en ressort que les traverses en béton consomment la plus grande énergie.

2.5 Méthodologie: Frontière et unité fonctionnelle.

L'objectif de l'étude est de définir une approche juste pour comparer divers matériaux de conception des traverses de chemin de fer contemporaines en fonction de leurs impacts sur l'environnement au cours de leurs cycles de vie ou de leur durée de vie typique.

Les **frontières** définissent la limite incluant l'extraction de matières premières, tout le transport, la transformation, l'énergie de fabrication, la finition, la construction sur site et la fin de vie. Elles excluent l'énergie et l'impact de la machinerie nécessaire pour fabriquer les rails sous lesquelles seront posées les traverses et les différences de dynamiques de la performance thermique des traverses. Pour cette étude, nous admettons que :

- Le bois utilisé pour les traverses agit comme un puits de carbone selon la norme britannique PAS 2050(BSI, 2011) [BSI British Standards 2008] qui suppose que tout le bois provient de sources durables c'est-à-dire géré selon les bases de la Forest Stewardship Council(FSC). Ou encore selon le processus FLEGT dont le Cameroun est en voie d'obtention de son certificat pour lutter contre la coupe illégale du bois. Il est à noter que la FSC a été fondée en réponse aux préoccupations du public à propos de la déforestation et de la demande pour un régime d'étiquetage de bois fiable. La certification de laFSC est axée sur la gestion de la forêt et une chaîne de traçabilité du bois.
- Les minerais nécessaires à la fabrication des traverses en béton sont extraits en respectant le code minier du Cameroun.

L'unité fonctionnelle est une traverse standard de 2,5 m de long, 25cm de large et 15cm d'épaisseur dont la fonction sera précisée dans la section modélisation en ce qui concerne la traverse en bois Azobé. Pour ce qui en est du béton, nous avons une traverse bi-bloc standard

formée de deux blocs de béton (27cmx29cmx21cm), les blochets, reliés par une entretoise métallique (90cmx0.8cmx5.5cm), qui absorbe les efforts au milieu de la traverse. Nous utiliserons celles qui ont chacune les dimensions totales suivantes : 2.25m de long, 29cm de largeur et 21cm d'épaisseur.

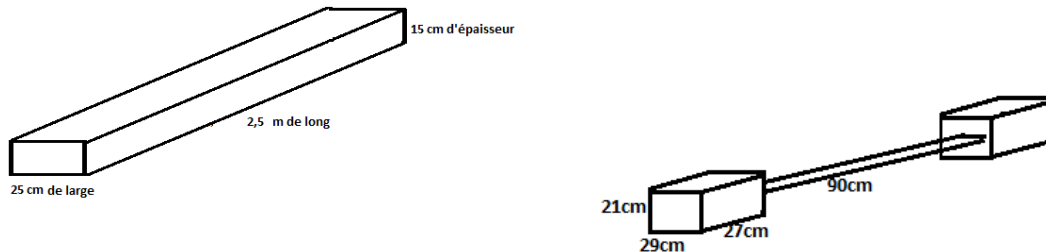


Figure 2.6 : Unité fonctionnelle pour l'étude.

On l'évalue au final à : $UF = 0,10 \text{ m}^3$ pour une traverse en bois et $UF = 0,13 \text{ m}^3$ pour une traverse bi-bloc en béton

2.6 Modélisation

2.6.1. Hypothèse de la modélisation.

La fonction d'une traverse de chemin de fer est de maintenir l'écartement, l'inclinaison des rails et transmettre au **ballast** les charges des véhicules circulant sur les rails. Pour modéliser l'unité fonctionnelle, on doit prendre en compte les caractéristiques des matériaux étudiés.

Traverse de chemin de fer en Azobé

- Matériau : Azobé.
- Energie grise : 700kWh/t (1kWh=3,6MJ) [L'énergie grise et le bois-Bois.com]
- Poids de l'unité fonctionnelle : 100kg environ, calculé à partir de la masse volumique et du volume d'une traverse en Azobé.
- Transport :
 - De la forêt communale de Batouri à l'usine de production des traverses à Bertoua = 89,685441 km, distance obtenue de Google Map.

De l'usine au site d'utilisation à :

- Yaoundé = 341,747027 km,
- Douala = 549,314559 km,

- Ngaoundéré = 401,314559 km, qui sont également les distances obtenues à partir de Google Map
 - Durée de Vie Typique (DVT) : 50ans.
 - Traitement : aucun.

Traverse de chemin de fer en béton.

- Matériau : Béton armé
- Energie : 790kWh/t (1kWh=3,6MJ)
- Poids de l'unité fonctionnelle : 200kg (50kg environ pour chaque blochet et 100kg environ pour l'entretoise métallique en acier)
- Durée de Vie Typique (DVT) : 50ans
- Transport :
 - De la carrière d'Ebaka dans la région de l'Est-Cameroun à Yaoundé= 369,5km
 - De la carrière d'Ebaka à Douala= 589,5 km
 - De la carrière d'Ebaka à Ngaoundéré= 586,5km
- Traitement : aucun

2.6.2. Outil de modélisation : le logiciel Bilan Produit

Le classeur BILAN PRODUIT permet d'évaluer les impacts des produits sur l'environnement. Il contient d'une part une méthodologie d'évaluation des impacts et d'autre part une base de données de matériaux, procédés de fabrication, moyens de transports, énergies, permettant de modéliser le produit. Pour conserver une simplicité de fonctionnement, la base de données ne comprend pas une liste de flux pour chaque module mais directement la liste des valeurs des indicateurs dans la méthodologie BILAN PRODUIT. En somme, l'outil BILAN PRODUIT utilise des résultats d'ACV pour fournir les impacts.

La base de données intégrée à BILAN PRODUIT a été établie en collaboration avec Ecoinvent Centre, Swiss Centre for life cycle inventories. Version 2.0 des données.

Les méthodes d'évaluation des impacts utilisées dans l'outil ont été établies en collaboration avec Ecoinvent et sont en cohérence avec celles utilisées dans la base de données Ecoinvent.

Deux catégories d'indicateurs d'impacts environnementaux sont distinguées dans la méthodologie BILAN PRODUIT :

Les indicateurs « Ressources » caractérisent les consommations réelles de ressources qu'engendre le produit sur l'ensemble de son cycle de vie.

Les indicateurs « Impacts » caractérisent les pollutions réelles et/ou potentielles générées par le produit sur l'ensemble de son cycle de vie.

- **Liste des indicateurs « ressources »**

1. Consommation énergie non renouvelable

En mégajoules - MJ

Cet indicateur exprime la quantité totale d'énergie fossile consommée sur tout le cycle de vie du produit selon la définition de cette énergie primaire par les organismes internationaux. Le calcul de cet indicateur prend donc en compte les énergies (feedstock) des ressources non renouvelables.

2. Consommation de ressources rares

En kilogrammes d'équivalent Antimoine – kg de Sb éq.

Cet indicateur exprime la quantité de matières « rares » consommée sur tout le cycle de vie du produit. Le calcul correspond à la somme des masses de matières « rares », au niveau contenu dans les minerais (in ore). Le seuil de « raréfaction » a été fixé juste au-dessus du niveau des ressources énergétiques fossiles (qui sont donc exclues du calcul) dans le classement de disponibilité des ressources (Depletion of abiotic resources) établi par la méthode reconnue de l'Université de Leiden. [Baseline, 2000].

Dans cette dernière, un facteur de disponibilité des ressources (Abiotic depletion factor) a été calculé pour chaque extraction de ressources minérales ou énergétiques fossiles sur la base des réserves disponibles et de leur taux d'exploitation.

- **« Comment utiliser BILAN PRODUIT ? »**

Lorsque le logiciel bilan produit, étant préalablement installé sur un ordinateur est ouvert, on doit suivre la procédure ci- après :

- Dans le volet notes concepteur, on nomme le projet, on précise le cas, la date et on peut porter son nom au projet ;
- Dans le volet unité fonctionnelle, on précise l'unité fonctionnelle et la durée typique de vie du produit ;

- Dans le volet phase de production, on va dans la base de données du logiciel, on sélectionne progressivement tous les composants qui entrent en jeu lors de la production ou fabrication des traverses concernées ;
- Dans le volet déplacement, on inclut tous les déplacements qui ont eu lieu depuis la fabrication du produit jusqu'à son implantation à des fins d'utilisation en précisant les engins ou véhicules qui ont été utilisés à cet effet.
- Dans le volet utilisation, on introduit tous les éléments indispensables pour l'exploitation du produit fini ;
- Dans le volet fin de vie, on précise le type de déchet
- Pour finir, on clique sur l'application calculs des impacts et les histogrammes portant les indicateurs de pollution s'affichent ainsi que les tableaux récapitulatifs des valeurs de ces impacts.

CHAPITRE 3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats.

Les résultats issus du calcul des impacts dans le logiciel Bilan Produit prennent en compte l'impact de plusieurs phases lors de la mise en œuvre d'un produit. Il comprend l'impact de la phase de production, de transport, d'utilisation et de fin de vie. Il regroupe ensuite l'impact sous différentes phases sur un histogramme intitulé impact par phase de vie. Dans cette étude, nous nous sommes appesantis sur la mise en œuvre des traverses en bois et béton. Les résultats issus de cette analyse sont présentés ainsi qu'il suit :

3.1.1. Résultats pour une traverse de chemin de fer en bois Azobé.

Pour la production d'une traverse en bois, il a fallu tronçonner le bois en forêt, puis le scier en traverse à l'usine. L'énergie électrique a été nécessaire pour scier une traverse de chemin de fer en bois Azobé et aussi, le diesel a servi comme carburant à la tronçonneuse pour couper la bille de bois à l'origine de la traverse dans la forêt. Le calcul des impacts sur l'environnement de ces deux éléments montre que la consommation en ressources (énergie grise) est de loin la plus importante après quoi suivent la consommation en énergie non renouvelable, l'écotoxicité (qui identifie la toxicité d'une substance pour un milieu) aquatique et l'acidification. L'histogramme ci-après, figure 3.1, montre l'essentiel des résultats des calculs.

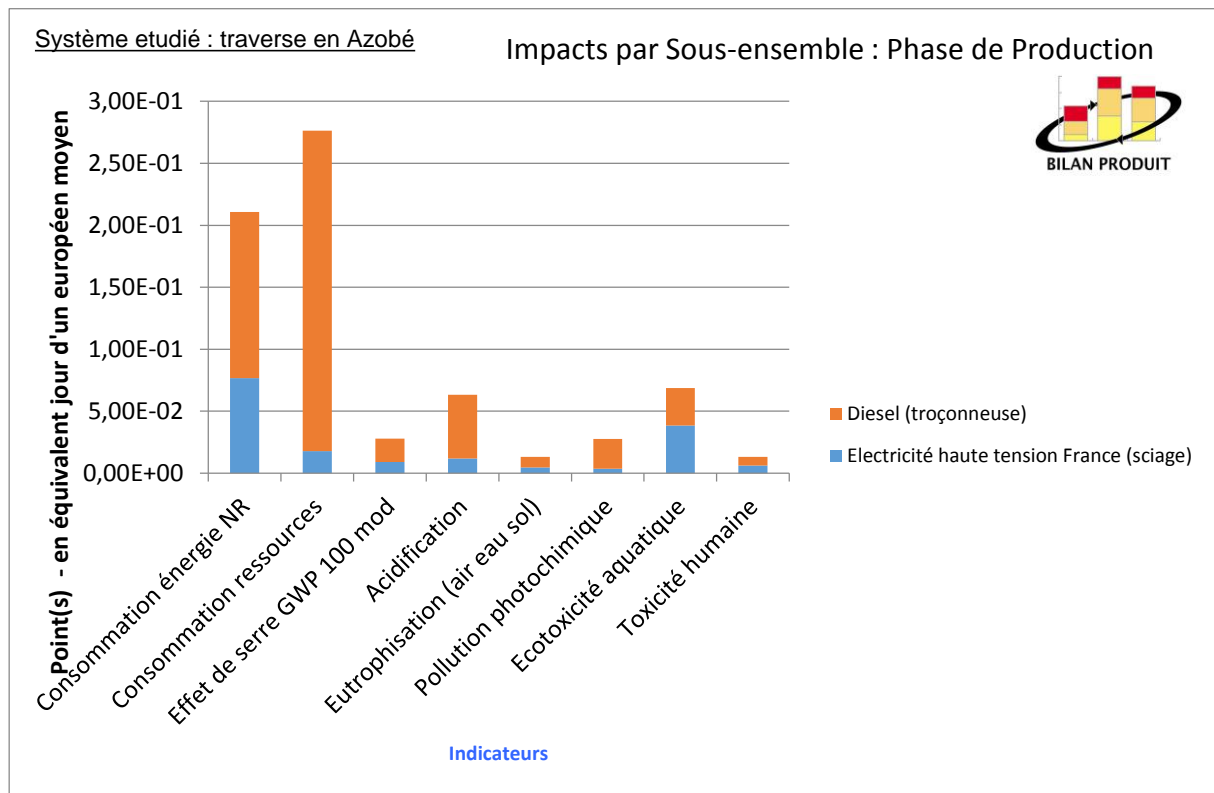


Figure 1.3: Phase de production

La phase de transport comprend tous les déplacements qui ont été nécessaires pour la réalisation d'un produit. Le graphe ci-après exprime les impacts sur l'environnement qu'ont engendré les divers déplacements pour la mise en œuvre d'une traverse de chemin de fer en bois. Elle implique le déplacement de la forêt pour l'usine de sciage et séchage et se poursuit par le déplacement des traverses de l'usine au site d'utilisation. La consommation en ressources est l'impact le plus important. Elle est suivie de la consommation en énergie NR, l'écotoxicité aquatique, l'acidification et l'effet de serre qui ne sont pas des moindres. L'histogramme ci-après présente l'essentiel des résultats obtenus.

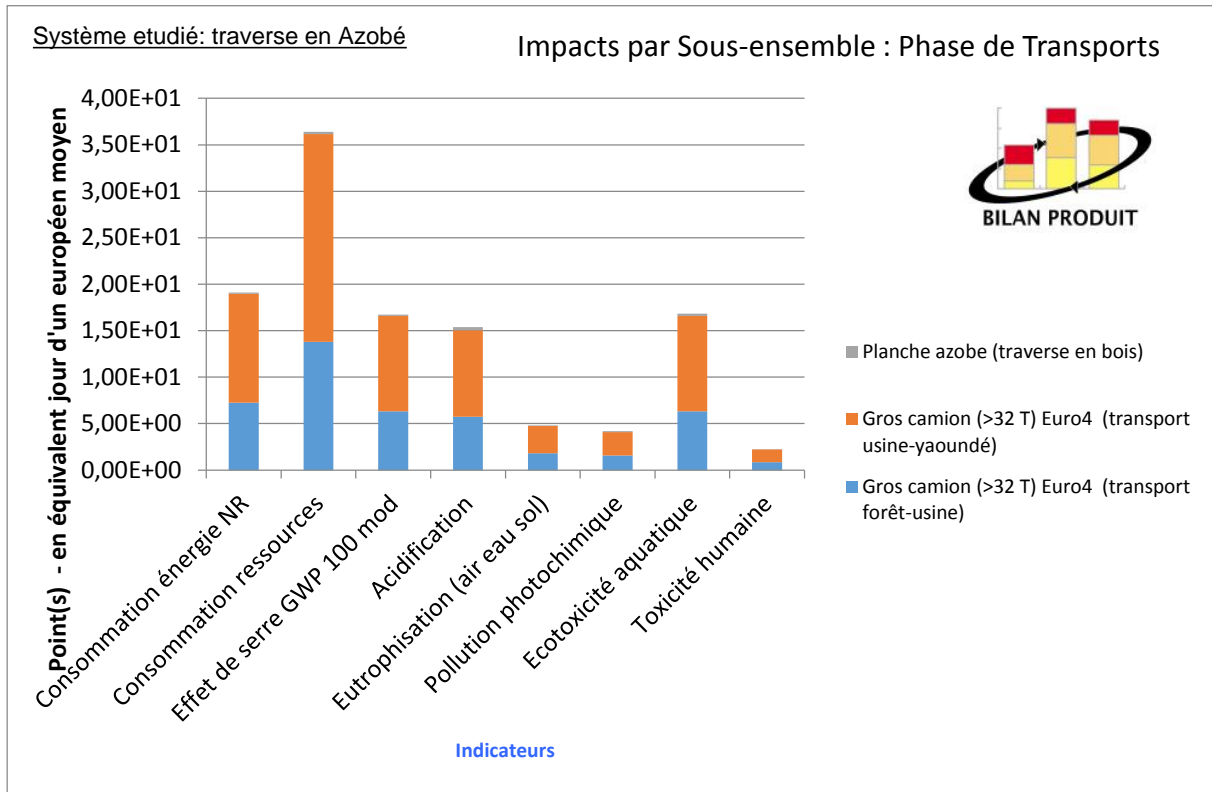


Figure 3.2: Phase de transport

La phase d'utilisation comprend l'ensemble des matériaux qui entrent dans la consommation du produit qui a été élaboré. Pendant la phase d'utilisation, le boulon d'attache en acier courant qui sert de matériau de fixation de la traverse sous le rail est celui qui dégage un impact très important sur l'environnement. En effet, son taux de toxicité sur le système aquatique est plus élevé que tous les autres pôles d'impacts répertoriés dans le logiciel bilan produit. La traverse en bois Azobé qui est l'objet de fixation, dans la phase d'utilisation a un impact négligeable par rapport à l'acier. L'histogramme ci-dessus ne fait pratiquement aucun cas de la traverse en question.

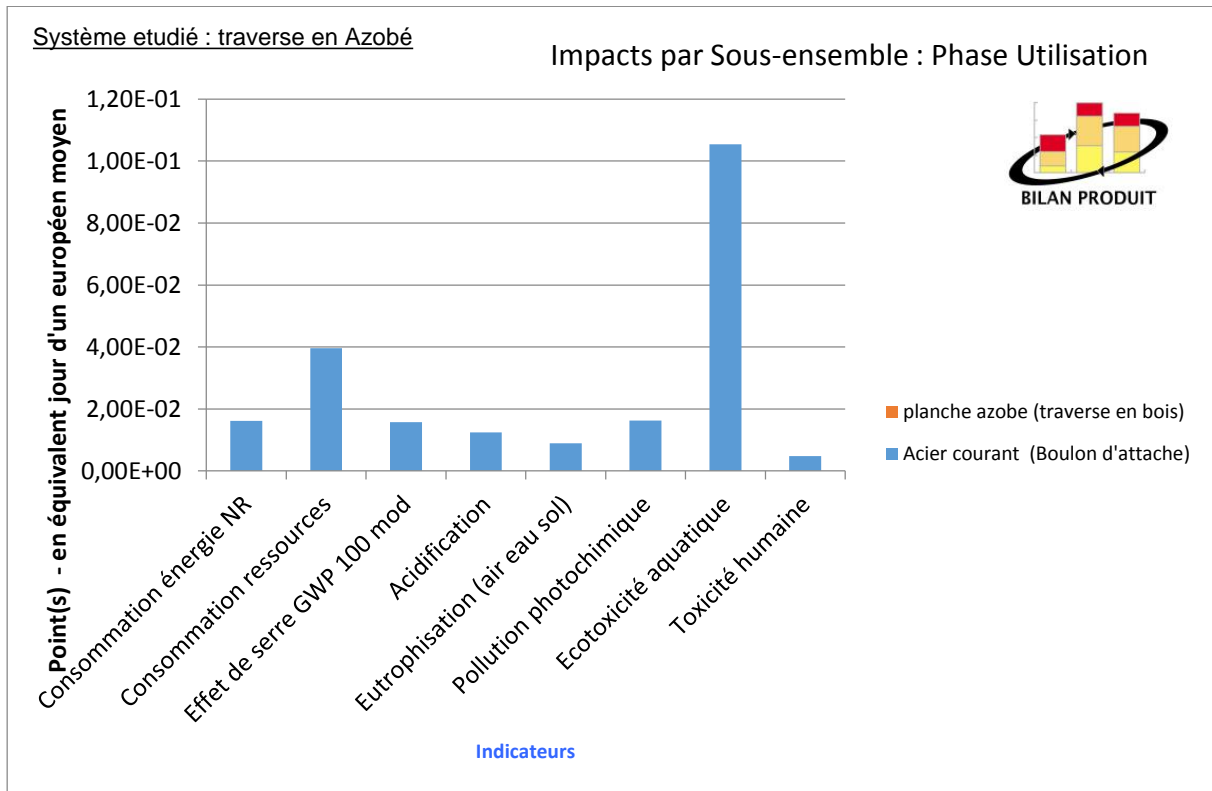


Figure 3.3: Phase d'utilisation

La fin de vie marque la phase après l'utilisation d'un produit. Les matériaux après utilisation peuvent être incinérés ou recyclés. L'historgramme ci-après, figure 3.4, prend en compte la fin de vie de l'acier qui a permis la fixation de la traverse sous le rail et la fin de vie de la traverse en question. Ils sont classés comme des déchets après leur utilisation. Ici l'écotoxicité aquatique est l'impact le plus prononcé. L'eutrophisation (eaux, sols et air) et l'acidification de l'environnement sont aussi plus importantes que les autres impacts enregistrés.

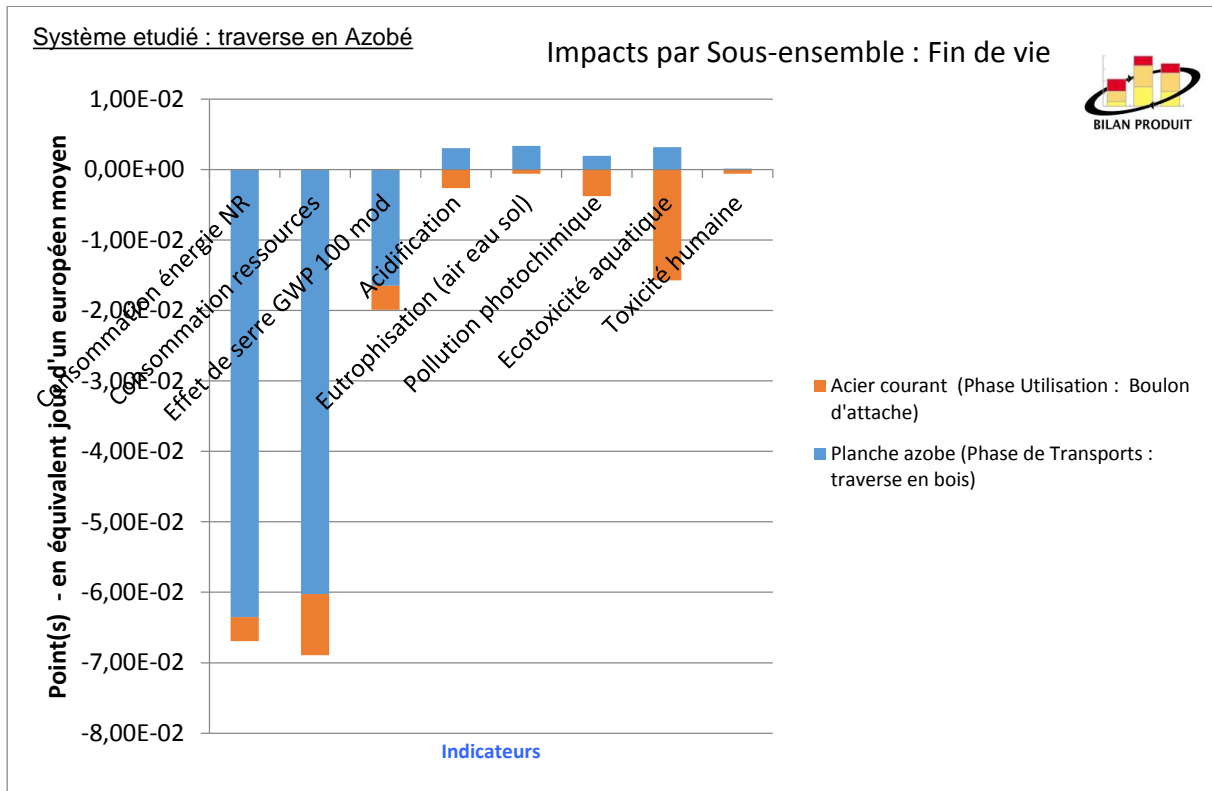


Figure 3.4: Fin de vie

L'impact par phase de vie comme nous l'avons mentionné précédemment, est une phase qui permet de regrouper toutes les étapes d'un produit depuis son élaboration jusqu'à la fin de sa vie. Elle facilite ainsi la comparaison des différents impacts par phase. Considérant l'historique de la figure 3.5 et les tables de valeurs qui suivent, on constate que la phase qui impacte le plus l'environnement correspond globalement à la phase de transport. Elle est suivie de la phase production et enfin d'utilisation. La consommation des ressources naturelles est l'impact le plus élevé.

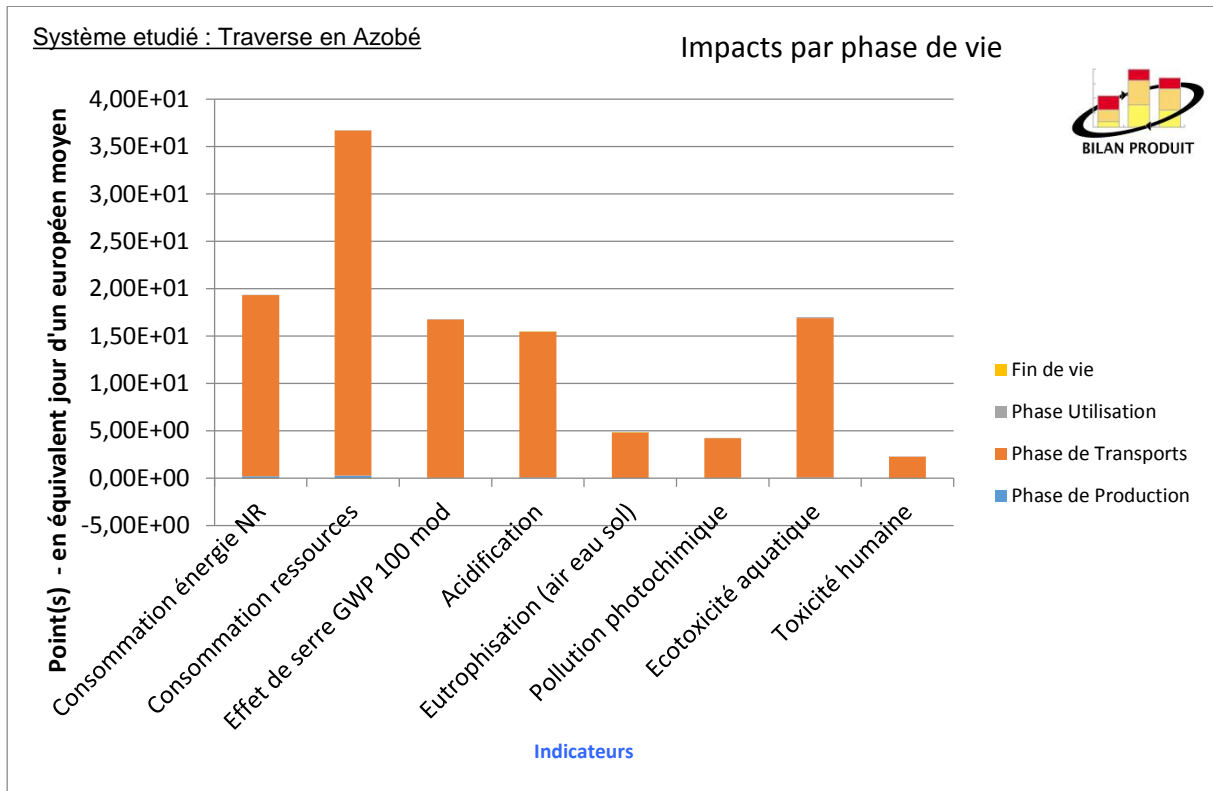


Figure 3.5: Impact par phase de vie.

Tableau 3-2: Impacts par phase de vie d'une traverse en Azobé..

| Indicateurs | Phase de Production | Phase de Transports | Phase Utilisation | Fin de vie |
|---|---------------------|---------------------|-------------------|------------|
| Consommation énergie NR (MJ eq) | 8,85E+01 | 8,03E+03 | 6,76E+00 | -2,81E+01 |
| Consommation ressources (kg Sb eq) | 2,64E-02 | 3,48E+00 | 3,79E-03 | -6,59E-03 |
| Effet de serre GWP 100 mod (kg CO2 eq) | 7,80E-01 | 4,70E+02 | 4,42E-01 | -5,60E-01 |
| Acidification (kg SO2 eq) | 7,76E-03 | 1,89E+00 | 1,53E-03 | 4,99E-05 |
| Eutrophisation (air eau sol) (kg PO4--- eq) | 1,38E-03 | 5,06E-01 | 9,40E-04 | 2,89E-04 |
| Pollution photochimique (kg C2H4) | 4,13E-04 | 6,30E-02 | 2,43E-04 | -2,73E-05 |
| Ecotoxicité aquatique (kg 1,4-DB eq) | 1,92E-01 | 4,71E+01 | 2,95E-01 | -3,51E-02 |
| Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq) | 7,39E-01 | 1,27E+02 | 2,69E-01 | -2,64E-02 |

| Indicateurs | Phase de Production | Phase de Transports | Phase Utilisation | Fin de vie |
|------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|------------|
| Consommation énergie NR | 2,11E-01 | 1,91E+01 | 1,61E-02 | -6,69E-02 |
| Consommation ressources | 2,76E-01 | 3,64E+01 | 3,96E-02 | -6,89E-02 |
| Effet de serre GWP 100 mod | 2,78E-02 | 1,67E+01 | 1,57E-02 | -1,99E-02 |
| Acidification | 6,33E-02 | 1,54E+01 | 1,25E-02 | 4,07E-04 |
| Eutrophisation (air eau sol) | 1,31E-02 | 4,82E+00 | 8,95E-03 | 2,76E-03 |
| Pollution photochimique | 2,75E-02 | 4,20E+00 | 1,62E-02 | -1,82E-03 |
| Ecotoxicité aquatique | 6,85E-02 | 1,68E+01 | 1,05E-01 | -1,25E-02 |
| Toxicité humaine | 1,31E-02 | 2,25E+00 | 4,78E-03 | -4,68E-04 |

Tableau 3-3: Impacts normés par phase de vie d'une traverse en Azobé

3.1.2. Résultats pour une traverse de chemin de fer en béton.

Pour la production d'une traverse en béton bi-bloc, il faut une entretoise métallique et du béton pour fabriquer les deux blochets que l'entretoise relie. L'entretoise est un matériau ferreux, plus précisément en acier courant. Le béton quant à lui, est une somme d'eau, de granulat et de ciment. Ces différents éléments ont des impacts sur l'environnement. Précisément, l'histogramme ci-après, figure 3.6, permet de se rendre compte que l'écotoxicité aquatique est de loin l'impact le plus important sur l'environnement lors de la conception de la traverse en béton. La consommation en ressources est le deuxième impact le plus important. La pollution photochimique, l'effet de serre, la consommation énergie non renouvelable ont la même hauteur en ce qui concerne l'impact sur l'environnement.

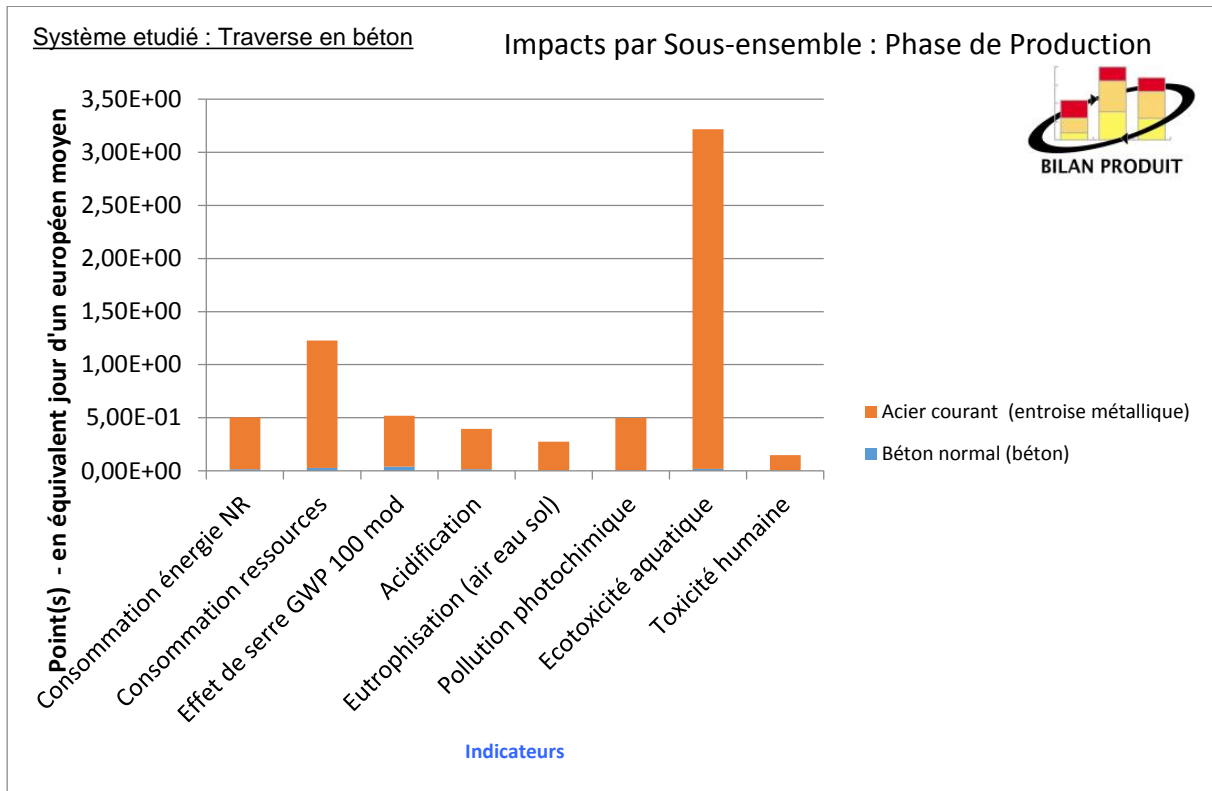


Figure 3.6: Phase de production

La phase de transport ici constitue l'ensemble des déplacements qui ont été nécessaire à la réalisation du produit. En effet, elle inclue le déplacement du ciment de Douala à la carrière de réalisation à Ebaka, le déplacement du camion de sable de la Sanaga (par Monatélé) pour la carrière d'Ebaka. L'eau courante et le gravier sont disponibles sur place. Le sable et le gravier constituent les granulats de notre béton. L'acier est supposé venir de la ville de Yaoundé. Tous ces déplacements ont des impacts sur l'environnement. En effet, la consommation en ressources est vraiment prononcée, suivie de la consommation en énergie, puis l'écotoxicité aquatique, l'effet de serre et l'acidification. L'histogramme ci-après, figure 3.7, nous donne un aperçu :

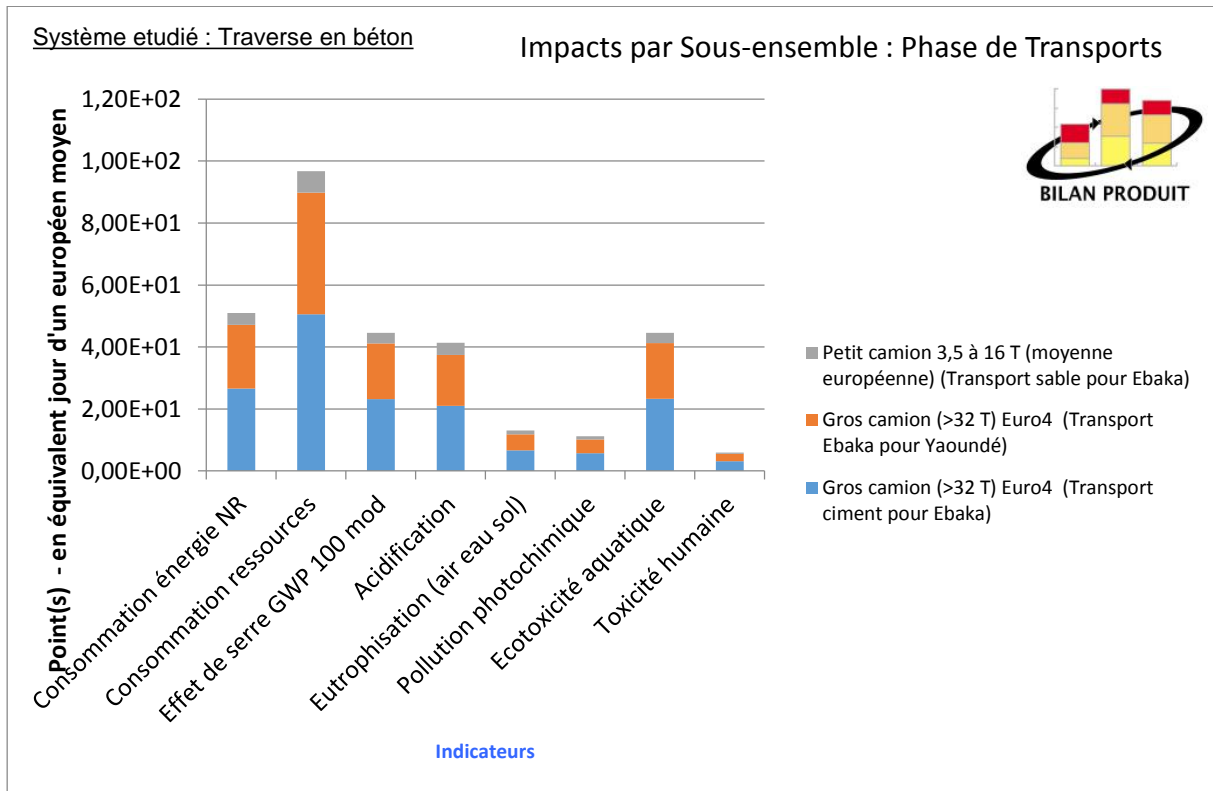


Figure 3.7: Phase de transport

Après l'élaboration de la traverse bi-bloc, une autre étape assez importante est son utilisation. Pour fixer cette traverse sous le rail, on utilise également les boulons d'attaches en acier courant. Comme précédemment, son impact n'est pas des moindres, aussi la traverse a un impact non négligeable lors de son utilisation. L'historgramme ci-après, figure 3.8, permet de se rendre compte que l'écotoxicité aquatique est l'impact le plus important après, suivent respectivement l'effet de serre, la consommation en ressources et l'acidification qui sont aussi importants.

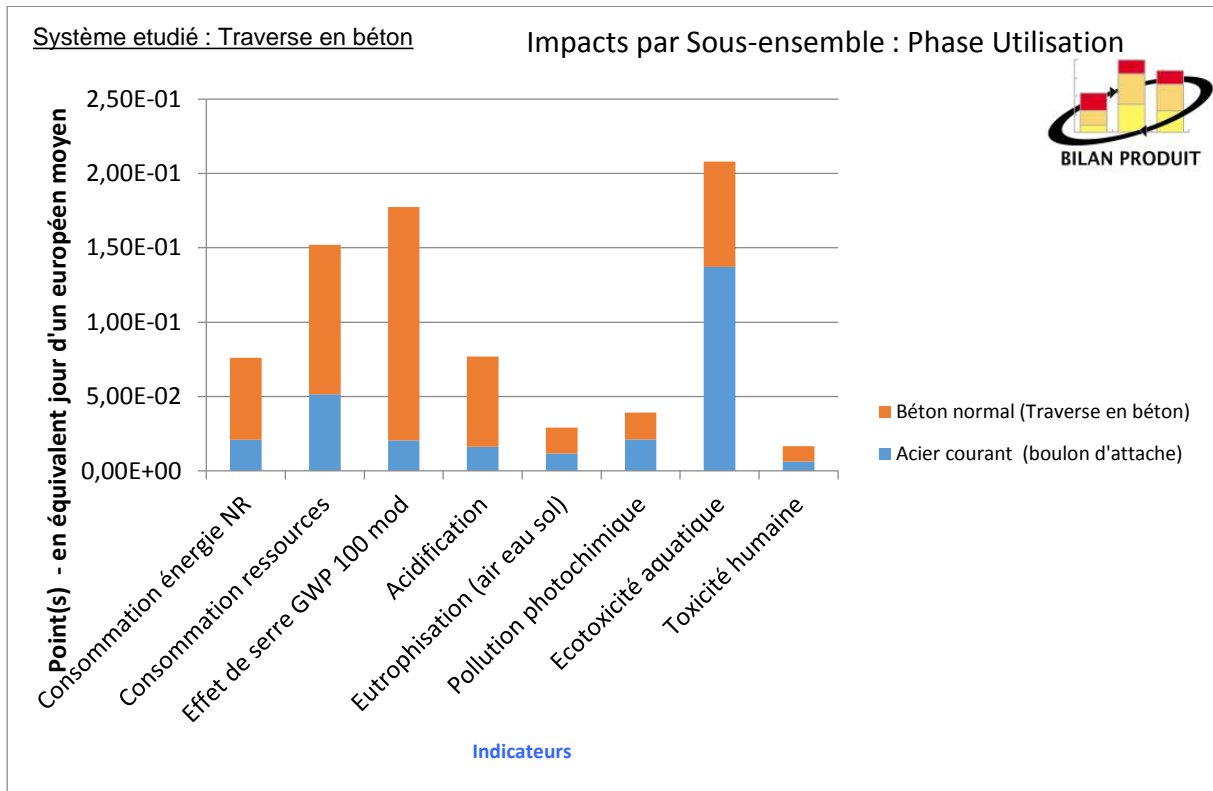


Figure 3.8: Phase d'utilisation

Après la phase d'utilisation, vient la fin de vie. Compte tenu du taux d'acier non négligeable, les déchets issus de la traverse en béton seront pour la plupart recyclés. Toutefois, nous remarquons que cela a un impact sur l'environnement. Notamment la consommation en ressource et la consommation en énergie NR qui sont un peu plus prononcés que les autres, voir figure 3.9.

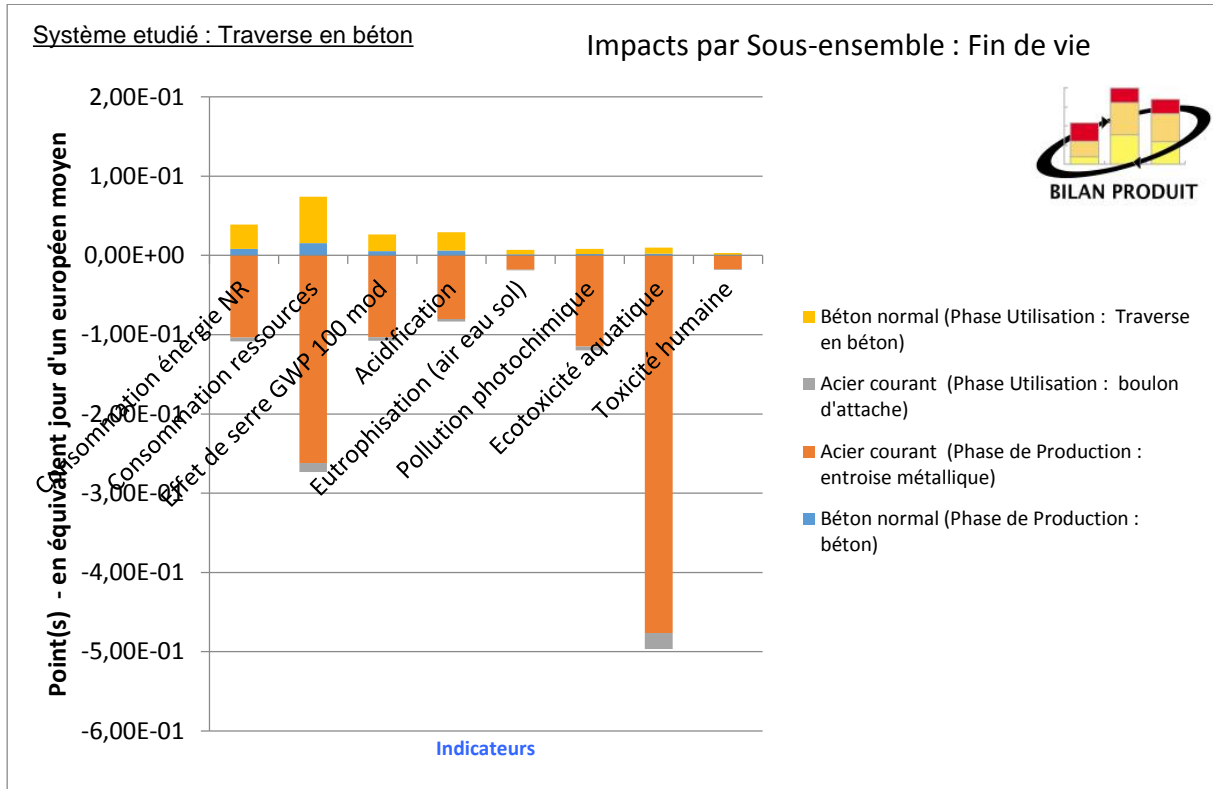


Figure 3.9: Phase de fin de vie

L'impact par phase de vie comme nous l'avons mentionné précédemment, est une phase qui permet de regrouper toute les étapes d'un produit depuis son élaboration jusqu'à la fin de vie. Elle facilite ainsi la comparaison des différents impacts par phase. Considérant l'histogramme de la figure 3.10 et les tables de valeurs qui suivent, on constate que la phase qui impacte le plus l'environnement correspond globalement à la phase de transport. Elle est suivie de la phase production. La consommation des ressources naturelles est l'impact le plus élevé après quoi viennent l'écotoxicité aquatique, la consommation en énergie NR l'effet de serre et l'acidité.

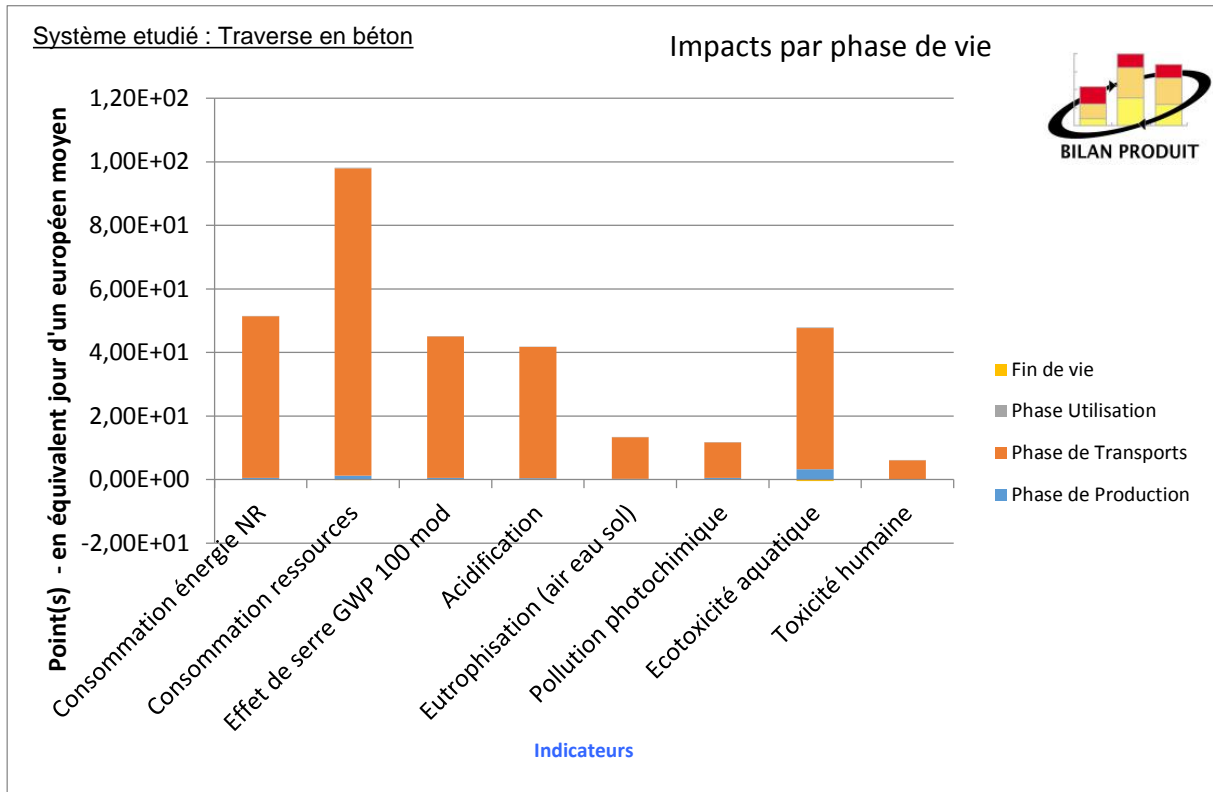


Figure 3.10: Impacts par phase de vie

Tableau 3-4: Impacts par phase de vie d'une traverse en béton

| Indicateurs | Phase de Production | Phase de Transports | Phase Utilisation | Fin de vie |
|---|---------------------|---------------------|-------------------|---------------|
| Consommation énergie NR (MJ eq) | 2,11E+02 | 2,14E+04 | 3,19E+01 | - 2,90E+01 |
| Consommation ressources (kg Sb eq) | 1,17E-01 | 9,25E+00 | 1,45E-02 | -1,90E-02 |
| Effet de serre GWP 100 mod (kg CO2 eq) | 1,46E+01 | 1,25E+03 | 4,99E+00 | - 2,28E+00 |
| Acidification (kg SO2 eq) | 4,83E-02 | 5,07E+00 | 9,42E-03 | -6,65E-03 |
| Eutrophisation (air eau sol) (kg PO4--- eq) | 2,90E-02 | 1,37E+00 | 3,06E-03 | -1,26E-03 |
| Pollution photochimique (kg C2H4) | 7,46E-03 | 1,68E-01 | 5,89E-04 | -1,67E-03 |
| Ecotoxicité aquatique (kg 1,4-DB eq) | 9,01E+00 | 1,25E+02 | 5,82E-01 | - 1,36E+00 |
| Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq) | 8,32E+00 | 3,35E+02 | 9,39E-01 | -8,64E-01 |

Tableau 3-5: Impacts normés par phase de vie d'une traverse en béton

| Indicateurs | Phase de Production | Phase de Transports | Phase Utilisation | Fin de vie |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------|
| Consommation énergie NR | 5,03E-01 | 5,09E+01 | 7,60E-02 | -6,91E-02 |
| Consommation ressources | 1,23E+00 | 9,68E+01 | 1,52E-01 | -1,99E-01 |
| Effet de serre GWP 100 mod | 5,18E-01 | 4,45E+01 | 1,77E-01 | -8,11E-02 |
| Acidification | 3,94E-01 | 4,14E+01 | 7,69E-02 | -5,42E-02 |
| Eutrophisation (air eau sol) | 2,76E-01 | 1,31E+01 | 2,91E-02 | -1,20E-02 |
| Pollution photochimique | 4,97E-01 | 1,12E+01 | 3,93E-02 | -1,11E-01 |
| Ecotoxicité aquatique | 3,22E+00 | 4,45E+01 | 2,08E-01 | -4,87E-01 |
| Toxicité humaine | 1,48E-01 | 5,95E+00 | 1,67E-02 | -1,53E-02 |

3.1.3. Comparaison des impacts d'une traverse en bois et d'une traverse en béton

Bilan produit nous a permis de comparer directement les résultats des impacts pour chaque cas (traverse en bois et traverse en béton). Il a axé cette comparaison sur le type et sur les différentes phases de vie. En ce qui concerne le type, la consommation en ressources pour le béton est plus élevée que celle du bois. Il en est de même pour l'écotoxicité aquatique, la consommation en énergie NR, bref tous les pôles. Voir figure 3.11.

En ce qui concerne la comparaison par phase de vie, la phase de transport pour les deux cas est la phase la plus importante. Elle est suivie de la phase de production (Figure 3.12). L'impact sur l'environnement des traverses en béton emporte sur l'impact sur l'environnement des traverses en bois.

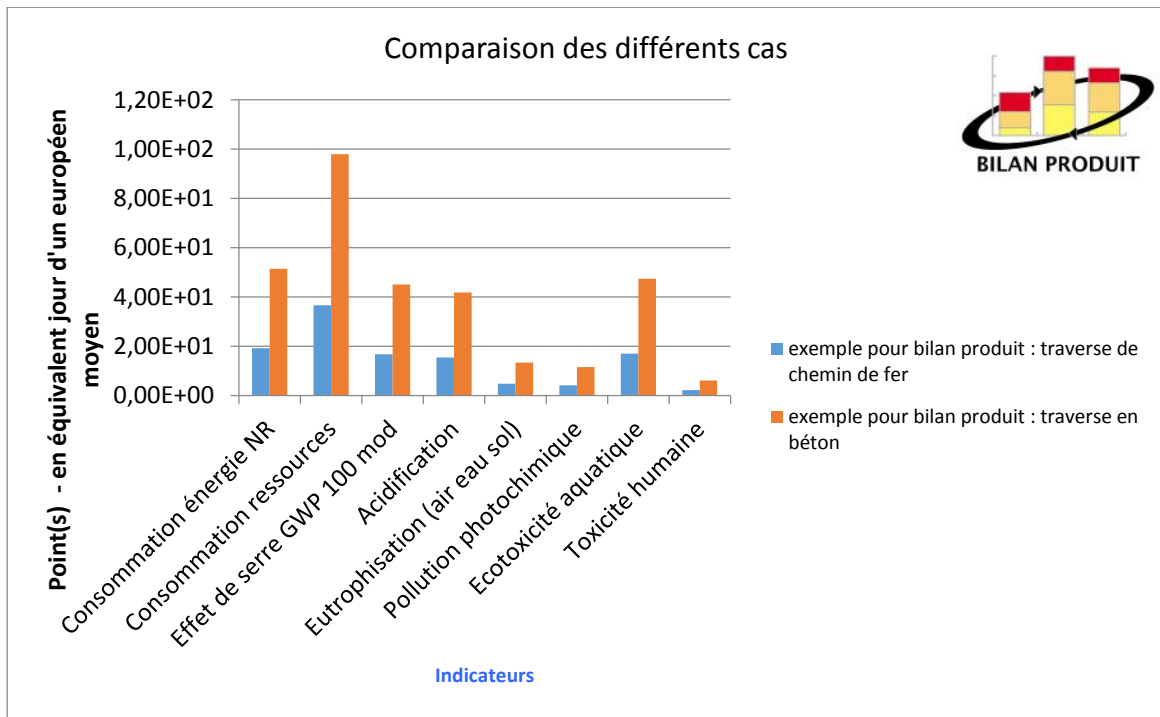


Figure 3.11: Comparaison par type de traverse

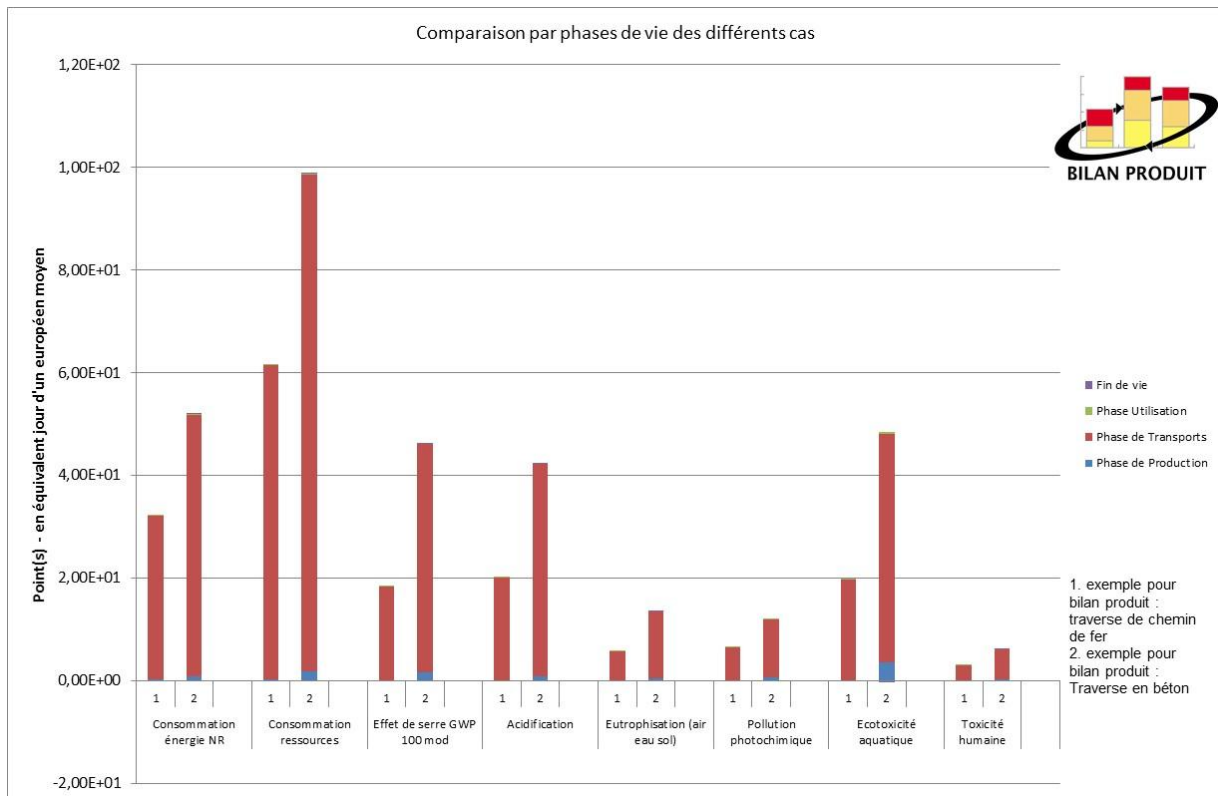


Figure 3.12: Comparaison par différentes phases de vie

3.2. Discussion

Au terme de la présentation des résultats, il ressort que :

1. La phase de transport allant de la fabrication à l'implantation des traverses (en bois comme en béton) est la phase qui impacte le plus l'environnement. Toutefois, il convient de remarquer que celle des traverses en béton est la plus élevée. Ceci peut se justifier par le fait qu'elle exige le déplacement de plusieurs éléments pour sa fabrication, ce qui n'est pas vraiment le cas pour la traverse en bois qui une fois l'arbre de base abattue, il ne reste plus qu'à le transporter pour l'usine de fabrication. On peut avoir une relation entre les impacts de la traverse de chemin de fer en bois (ITBois) et celui en béton (ITBéton). En effet, considérant les résultats normés, la relation entre ces deux matériaux pendant la phase de transport est la suivante :

$$ITBéton = 2.67 ITBois$$

2. La deuxième phase la plus impactante est la phase de production. Il faut noter que l'exploitation de l'acier, du ciment et du gravier commence par la destruction du couvert végétal. Le bois n'est pas du reste, mais celle de la traverse en béton emporte sur elle. La production des traverses en béton exige non seulement plus de l'environnement mais encore favorise un grand rejet des déchets dans celui-ci. La relation faite entre ces deux matériaux en se basant sur les résultats normés des impacts est donnée par :

$$ITBéton = 10.65 ITBois$$

3. La phase d'utilisation, troisième a un impact pas assez important sur l'environnement, du moins à la hauteur des autres. Toutefois il convient de remarquer que celle du béton représente 2,59 fois celle du bois. Ceci peut se justifier par le fait que pendant l'utilisation, le bois Azobé a un caractère imputrescible alors que les éléments constitutifs du béton à l'exemple du ciment auront des réactions chimiques avec des eaux de ruissellement favorisées par les conditions de température et de pression. Ici, il est important de préciser que le boulon d'attache de la traverse sous le rail est le même pour le bois, tout comme pour le béton. C'est dire que ce qui fait vraiment la différence entre les deux impacts de cette phase est le matériau de base de la traverse de chemin

de fer considéré qui est fixée sous le rail. La relation entre les résultats normés est donnée par :

$$\text{ITBéton} \ 3.54 \ \text{ITBois}$$

4. La dernière phase qui est pratiquement négligeable, est la fin de vie. Au terme de leur vie, les traverses en béton peuvent être recyclées pour compléter la fabrication de nouvelles traverses. Les traverses en bois Azobé, comme n'étant pas traitées au créosote, peuvent être incinérées. Elles peuvent par exemple servir de base à la production du charbon utile dans nos ménages.

La consommation en énergie non renouvelable est assez importante pour la production des traverses de chemin de fer. Précisément, celle des traverses en béton l'est un peu plus élevée par rapport à celle des traverses en bois. Elle est de l'ordre de 0,503 pour une seule traverse en béton et de l'ordre de 0,211 pour une seule traverse en bois. La toxicité humaine dans tous les calculs révèle que son taux est faible. Toutefois il nous convient de dire que la survie de l'espèce humaine dépend de son environnement. Si Bilan Produit montre à quelle hauteur la production des traverses atteignent directement l'homme, il montre aussi comment il influence son environnement. La vie de l'homme dépend en grande partie de son environnement.

Il est à noter que les traverses en béton sont plus durables que les traverses en bois. Aussi, on peut recycler plusieurs éléments des traverses en béton pour en réaliser de nouvelles ce qui n'est pas le cas pour les traverses bois. De plus, pour réaliser l'extraction du bois en forêt et le transport de ce bois pour l'usine, il faut terrasser les plantes et arbres pour permettre aux véhicules circuler, sans oublier que la croissance jusqu'à maturation du bois prend beaucoup de temps pour s'accomplir.

Notons pour finir que si le bois avait été traité à la créosote, la phase de production et la phase d'utilisation auraient été influencées car la créosote est un produit de toxicité connue sur le plan international [Kalidjata et al, 2007].

CHAPITRE 4. IMPLICATION DANS LE SYSTEME EDUCATIF

Une implication est une action par laquelle on attribue à quelqu'un un certain rôle dans une affaire. Dans cette partie de notre étude il sera question de montrer les implications dans le système éducatif du sujet de notre mémoire à savoir « *l'évaluation comparée de l'impact environnemental des traverses de chemin de fer en bois et en béton utilisées au Cameroun* ». Pour y arriver, nous allons montrer l'intérêt didactique de ce travail et la population ciblée par cette étude.

4.1. Intérêt didactique.

On dit qu'un document a un intérêt didactique lorsqu'il est capable de renseigner quelqu'un sur un sujet bien précis. La didactique d'une matière s'intéresse au contenu et aux difficultés que pose son enseignement.

Pour des besoins didactiques, dans la résolution de notre exercice qui consistait à faire une étude comparée, nous avons défini les objectifs spécifiques qui ont été des point d'appuis pour parvenir à l'objectif général de cette étude ; qui était d'examiner et de comprendre les impacts environnementaux des traverses de chemin de fer en bois et en béton utilisées au Cameroun, partant de l'extraction jusqu'à leur fin de vie (élimination) en passant par la production, le traitement, le transport et l'utilisation.

Nous avons ensuite montré les éléments qu'il faut prendre en compte, les stratégies qu'il faut développer et les données qui sont indispensables lorsqu'on veut évaluer un produit via le logiciel Bilan Produit. Nous avons montré les indicateurs de pollution qui découlent de la production et l'utilisation des traverses de chemin de fer qu'elles soient en bois ou en béton comme la consommation en énergie non renouvelable, l'effet de serre, la consommation en ressource, l'acidification, l'écotoxicité, la pollution photochimique, l'eutrophisation et la toxicité humaine en donnant les valeurs de chaque indicateur à l'aide de notre logiciel.

Ce travail renseigne aussi sur le fait que les traverses de chemin de fer en bois Azobé ne nécessitent aucun traitement en particulier au cours de leur élaboration et durent assez longtemps. Les traverses de chemin de fer en béton armé ne nécessitent aucun traitement en

particulier et durent assez longtemps également ; toutefois ses composants réagissent avec les eaux de ruissellement des pluies.

En ce qui concerne l'intérêt de ce travail pour l'enseignement de la physique, nous avons montré que les paramètres physiques tels que la densité, la masse volumique, la quantité de matière, l'énergie, le volume peuvent être appliqués dans le calcul des impacts environnementaux lorsqu'on utilise le logiciel Bilan Produit. En effet, pour choisir un procédé de fabrication dans la base de données disponible du logiciel, il faut s'assurer que ses propriétés physiques coïncident avec celle du matériau que nous voulons réellement évaluer. Par exemple, lors de l'évaluation d'une traverse de chemin de fer en béton, nous avons accédé à la base de données pour choisir le type de béton. Nous avons vu les paramètres du béton choisi et avons comparé à ceux dont nous disposons et avons appuyé sur ok pour valider. Voir figure 4 qui est une capture d'écran:

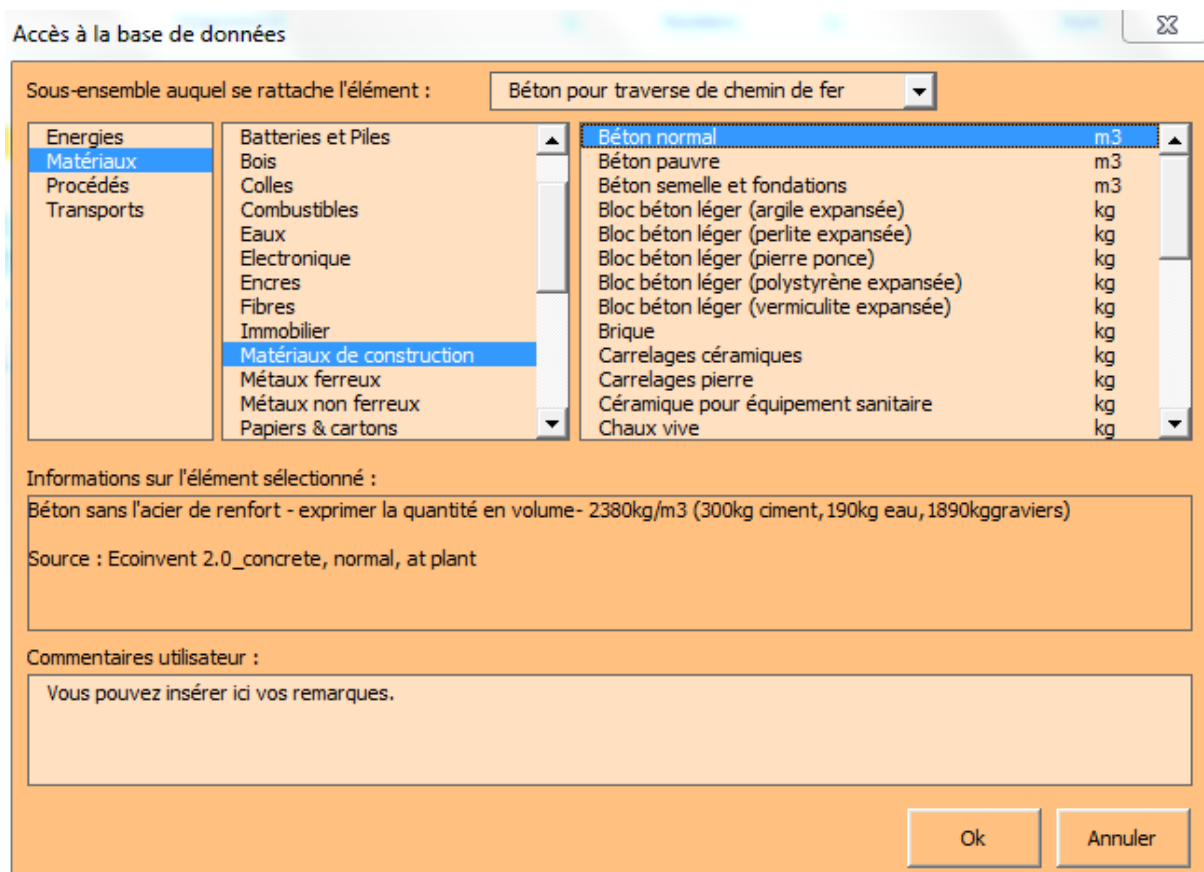


Figure 4: Exploitation des paramètres physiques dans le Logiciel Bilan Produit

Ensuite, grâce à l'unité fonctionnelle, le logiciel se charge de délimiter les proportions pour l'évaluation.

4.2. Population ciblée par cette étude

Etant donné que l'identification et l'évaluation des impacts se sont faites à partir de la méthode appropriée d'analyse de cycle de vie qui est l'une des méthodes les plus fiables d'aide à la décision pour les autorités publiques et privées. Ce travail renseignera dans un premier temps les autorités publiques et privées sur les impacts environnementaux liés à l'utilisation des traverses de chemin de fer en bois ou en béton au Cameroun, dans le but de faire un choix conséquent.

Au niveau scolaire, cette étude peut permettre aux enseignants de dire aux élèves à quelle hauteur la fabrication et l'utilisation des traverses de chemin de fer polluent l'environnement et justifier le choix que les autorités publiques ont fait des types de traverses utilisées sur le territoire national. Nous rappelons que les cours sur la notion de pollution sont vus dans les classes de premières et les classes de troisième dans le système éducatif Camerounais.

Ce travail renseigne aussi le citoyen Camerounais, quelque soit son métier, sur le bien-fondé de l'utilisation d'une traverse par rapport à une autre sur le territoire Camerounais, et par la suite, l'aide à faire également plus attention à son environnement.

Conclusion Générale

L'étude que nous avons menée avait pour but de comparer l'impact environnemental des traverses de chemin en bois et en béton utilisées au Cameroun. Autrement dit, nous devrions spécifiquement savoir quels sont les dommages et les impacts liés aux grands projets ferroviaires sur l'environnement du Cameroun, si les ressources consommées sont renouvelables ou non. Nous avons utilisé l'analyse par cycle de vie pour arriver à nos fins. Au terme de cette analyse, il en découle que plusieurs indicateurs ont permis d'émettre un point de vue concret. En effet, la conception des traverses en béton exige plus d'énergie que celle en bois. Le niveau de toxicité des traverses en béton sur l'environnement dépasse sur celui des traverses en bois. Parmi toutes les phases prises en compte par ce logiciel, la phase de transport est celle qui produit le plus d'éléments de pollution. La pollution causée par les traverses en béton est de 2,67 fois supérieure à celles en bois. Après la phase de transport vient la phase de production qui donne un taux de pollution des éléments en béton de 10,65 fois plus considérable que ceux en bois. La phase d'utilisation est la troisième phase qui pollue le plus dans laquelle le béton produit 3,54 fois plus d'éléments de pollution que le bois. L'écotoxicité aquatique dans les deux premières phases est plus élevée que dans les autres. Le niveau d'acidification de l'environnement et la production des gaz à effet de serre sont aussi des points non négligeables. Nous avons aussi remarqué que la consommation en énergie non renouvelable est un peu plus élevée dans la production des traverses en béton que celle en bois, ceci parce que plusieurs composants entrent dans sa fabrication par rapport à celle des traverses en bois.

Références bibliographiques.

-B-

Boogeardt France (2012) Azobé : renseignements techniques et normes. PMB Média

-C-

CAMRAIL et Bolloré Africa Logistics (2013) Thématique mobilité transport, CAMRAIL entreprend l'arrimage du chemin de fer au standard international. Disponible sur <http://Investir au Cameroun.htm/>

CIRAD-Forêt de Montpellier (2012) Azobé. Tropix (7) : 1-4.

CML 2 baseline V2.1 2000.

-D-

Dr Gillian F. Menzies (2013). Life cycle assessment of timber, modified timber. Technical report, Institute for Building and urban Design, Heriot Watt University.

-E-

Erik Niemann (2012) L'énergie grise dans la filière bâtiment et travaux publics. Source : <http://L'énergie et le Bois-Bois.com.htm/>

-G-

G; Sonnemann, F. Castells, and M. Schuhmacher (2003) Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes. CRC Press.

-I-

ISO 14040 (1997) Management environnemental.

ISO 14042 (1999) Management environnemental.

-J-

J.C MONIN (2003) Décentralisation et politique forestière : proposition de mesures pour les communes forestières. FNC0FOR

-K-

κ. Török (1938) Traverses en béton armé, Revue «Zemenf» 1938 (Nos. 42 à 46).

Kalidjata MEITE et Jacky BONNEMAINS (2007) Le cas des traverses de chemin de fer traitées aux créosotes. Robin des Bois, Association de protection de l'Homme et de l'Environnement.

-M-

Micheline MORANVILLE (1997) Ciments et bétons : Composition, propriétés et utilisations Bulletin De L'union Des Physiciens 131 (Vol. 91) : 125-143

Michel Durochat, G Desplanques (2013) Qu'est-ce qu'un rail, une voie ? Disponible sur [http://la.voie.ferrée, structure.htm/](http://la.voie.ferrée,structure.htm/)

-N-

NGANTEU (2014) Evaluation comparée de l'impact environnemental d'une fenêtre en bois de Sapelli et d'aluminium dans la ville de Yaoundé. Ecole normale supérieure de Yaoundé, Cameroun.

-P-

Publicly Available Specification (2008) Spécification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. BSI British Standards. ISBN, 978(0): 580

-R-

R. Bilfinger (1943) Traverse de chemin de fer en béton armé. Bulletin du ciment (16) : 1-6

Richard Murphy (2004) Le bois et son cycle de vie. Département des sciences biologiques, Imperial College Londres. OIBT Actualités des Forêts Tropicales (12/3) : 12-14

-S-

Selmes D.G. Towards sustainability: direction for life assessment. PhD thesis, Heriot Watt University, 2005.

-T-

Tropisch Hardhout, Bilterijst N.V. (2011) Le bois Azobé. Houtvademecum (8ème édition): 1-3.

-Y-

Yves Lessard (2006) Commercialisation des bois, en forets des collectivités. FNCOFOR