

RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix-Travail-Patrie

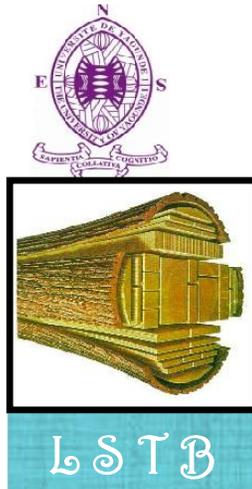
UNIVERSITÉ DE YAOUNDE I

ÉCOLE NORMALE SUPERIEURE

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

LABORATOIRE DES SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DU BOIS

B. P. 47 Yaoundé



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace-Work-Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TEACHERS TRAINING COLLEGE

DEPARTMENT OF PHYSICS

LABORATORY OF WOOD SCIENCE AND
TECHNOLOGY

P. O. Box 47 Yaoundé

ÉVALUATION COMPARÉE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES POTEAUX ÉLECTRIQUES EN EUCALYPTUS ET EN ACIER DANS LA VILLE DE YAOUNDÉ

*Mémoire présenté et soutenu en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur des
Lycées de l'Enseignement Secondaire deuxième grade (Di.P.E.S. II).*

Par:

NYAPA TCHOUBOUN Landry

Di.P.E.S. I

Licence en physique

Matricule 11Y766

Sous la Direction du

Prof. MUKAM FOTSING Joseph Albert

Maître des conférences, Université de Yaoundé I

Année académique 2015-2016

ÉVALUATION COMPARÉE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES POTEAUX ÉLECTRIQUES EN EUCALYPTUS ET EN ACIER DANS LA VILLE DE YAOUNDÉ

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de professeur
des lycées de l'enseignement secondaire deuxième grade : **Di.P.E.S II**

par

NYAPA TCHOUBOUN Landry

Matricule 11Y766

Di.P.E.S I

Licencié en Physique

sous la direction du :

Prof. MUKAM FOTSING Joseph Albert

Maître de Conférence, Université de Yaoundé 1

Année Académique 2015-2016

Dédicace

- À Mes parents **TCHOUBOUN PHILIPPE** et **YOUTCHOU FRIDE**
- À Monsieur **ZONDEGOUMBA** et son épouse **Dr NKWENGOUA TCHOUBOUN Ernestine** .

Remerciements

Ce travail est le fruit des efforts intenses que ma modeste personne ne peut prétendre avoir fourni seul. Qu'il me soit permis d'exprimer toute ma gratitude :

- À L'Éternel, Dieu vivant, qui nous guide et nous instruit chaque jour.
- Au Chef du Département de Physique, le Professeur **BEGUIDE BONOMA**, qui nous a donné beaucoup de conseils durant ces cinq années.
- À mon Directeur de mémoire le Professeur **MUKAM FOTSING Albert Joseph** pour la confiance portée à mon égard et qui, en dépit de ses nombreuses occupations n'a ménagé aucun effort pour diriger ce travail .
- Au Directeur Régional Centre Eneo-Cameroun et son équipe, pour toutes les facilités qu'ils m'ont accordées pour l'obtention des données relatives à l'étude.
- Aux **Président** et **Honorables membres du jury** , qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce travail.
- À Tous les Enseignants du Département de Physique de l'École Normale Supérieure de Yaoundé, qui n'ont ménagé aucun effort pour nous dispenser des enseignements de qualité.
- À ma feu grande soeur **KEMAJOU TCHOUBOUN SYLVIE** pour ses conseils et soutien dès mon enfance.
- Aux Professeurs **LENTA BRUNO**, **KAPCHE**, **KENFACK** pour leur encouragements et le soutien multiples.
- À Toutes nos soeurs **TCHOUBOUN Léocadie**, **TCHOUBOUN Mélanie**, **TCHOUBOUN Prisca** pour leurs affection qui m'a donné beaucoup de courage

-
- Aux grands Frères **TENFEUT TCHOUBOUN ACHILLE, FEUZEU RAOUL, DJOKOU BRUNO** pour tous leurs soutiens et encouragements inestimables.
 - À mes amis **BADUIDANA MARCIAL, YONKWE RAOUL GIRESE, DJOUKAM FABRICE, TSAPI METCHOP VANELE AUDREY, Emmanuel KEMDA** pour leurs critique et accompagnement.

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Résumé	vii
Abstract	viii
Liste des abréviations	ix
Introduction générale	1
1 REVUE DE LA LITTÉRATURE	3
1.1 Contexte et justification	3
1.2 Objectifs de l'étude	3
1.2.1 Objectif général	4
1.2.2 Objectifs spécifiques	4
1.3 Hypothèses de l'étude	4
1.4 Revue de la littérature	5
1.4.1 L'étude de l'impact environnemental	5
1.4.2 L'audit environnement	5
1.4.3 L'analyse de cycle de vie	6
Présentation	6
Les normes	7
Principe de calcul	13

1.5	L'analyse de cycle de vie et les poteaux électriques	15
1.6	ACV des poteaux électriques	16
1.6.1	ACV des poteaux électriques en eucalyptus	16
	Provenance de l'eucalyptus	17
1.6.2	Cycle de vie de poteaux électriques en eucalyptus	18
1.6.3	ACV des poteaux électriques en acier	20
	L'acier	20
1.7	Quelques termes couramment utilisés en Analyse de Cycle de Vie	24
2	MATERIELS ET METHODES	26
2.1	Matériels et méthodes d'étude	26
2.1.1	Matériels d'étude	26
2.1.2	Approche d'étude	27
2.2	Cycle de Vie (CV) des poteaux électriques en eucalyptus	30
2.2.1	Propriétés de l'eucalyptus	31
	i) Provenance	31
	ii) Présentation de l'UTPB	32
	iii) Activités de l'UTPB	34
	iv) Évolution historique des produits de traitement d'eucalyptus	34
	v) Activité du parc de bafounda	37
2.2.2	CV des poteaux électriques en eucalyptus	44
2.3	CV des poteaux électriques en acier	45
2.3.1	Production primaire	47
2.3.2	Production secondaire	48
2.4	Récapitulatif des deux cycles de vie	49
2.5	Impacts environnementaux dus aux poteaux électriques en eucalyptus et en acier	49
2.6	Énergie grise	51
2.7	Méthodologie de modélisation	51
2.7.1	Définition des frontières, fonction et unité fonctionnelle	51
2.7.2	Analyse de l'inventaire	55
2.7.3	Hypothèse de modélisation	55

2.7.4	Outils de modélisation :Le logiciel BILAN PRODUIT	56
	Méthodologie de BILAN PRODUIT	57
3	RESULTATS ET DISCUSSION	61
3.1	Résultats	61
3.1.1	Résultats pour les poteaux électriques en eucalyptus	61
3.1.2	Résultats pour les poteaux électriques en acier	65
3.1.3	Comparaison des impacts de poteaux électriques en eucalyptus et des poteaux électriques en acier.	71
3.2	DISCUSSION	72
3.3	Conclusion	74
4	IMPLICATION DANS LE SYSTEME EDUCATIF	76
4.1	Intérêt didactique.	76
4.1.1	Définition des concepts	76
4.1.2	Objectif de l'étude.	77
4.1.3	Méthodologie	78
4.2	Fiche pédagogique.	78

Résumé

Cette étude traite de l'évaluation comparée de l'impact environnemental des poteaux électriques en eucalyptus et en acier dans la ville de Yaoundé. Cette comparaison a été effectuée suivant le cycle de vie de chaque poteau électrique, c'est-à-dire de l'extraction de la ressource jusqu'à sa fin de vie en passant par la production, le transport par le logiciel Bilan Produit. Il ressort de cette étude que les poteaux électriques en acier ont le plus haut niveau de charges environnementales tout au long du cycle de vie soit 28,5% en plus par rapport aux poteaux électriques en eucalyptus pour les indicateurs suivant : consommation de l'énergie non renouvelable, consommation des ressources, effet de serre et eutrophisation ; les poteaux électriques en eucalyptus sont 75 fois moins polluants que les poteaux électriques en acier au niveau de la pollution photochimique. Ces charges environnementales sont dues principalement à la consommation d'énergie au cours de la production de l'acier et les polluants résultant.

Mots clés : Impact environnemental, analyse du cycle de vie, poteau électrique en eucalyptus, poteau électrique en acier, cycle de vie.

Abstract

This study was a comparative evaluation of the environmental impact of eucalyptus and steel electrical posts in the city of Yaoundé. This comparison has been carried out following the life cycle analysis of each electricity pole, that is from the resource extraction up to its end of life including the production, transportation, by using the Balance Sheet software product. It is clear from this study that steel electrical posts have the highest environmental load throughout the life cycle of 28.5% more than eucalyptus electrical posts for the following indicators : consumption of non-renewable energy, resource consumption, greenhouse effect and eutrophication. the solution of Eucalyptus electrical post was 75 times less polluting than steel electrical post at the photochemical pollution. These environmental loads are mainly due to the consumption of energy during the production of steel and the resulting pollutants.

Keys words : environmental impact, life cycle analysis, Eucalyptus electrical post, steel electrical post, life cycle .

Liste des abréviations

- ACV : Analyse de Cycle de Vie
- ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie
- CV : Cycle de vie
- CTBA : Centre Technique du Bois et de l'Ameublement
- DCB : Diodes Dichlorobenzène
- eneo : energie of Cameroun
- FLEGT : Forest Law Enforcement, Governance and Trade
- GWP : Global Warning Potentiel
- ISO : Organisation Internationale de Standardisation
- HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polyclinique
- HQE :Haute Qualité Environnementaux
- IE : Impacts Environnementaux
- ICV : Inventaire de Cycle de Vie
- INEGI : National Institute of Statistique and Geographie
- MJ : Méga-joules
- NASA : National Aeronautics and Space Administration
- NF : Norme Française
- PEA : Poteau Électrique en Acier
- PEE : Poteau Électrique en Eucalyptus

-
- PME :Petites et Moyennes Entreprises
 - PMI : Petites et Moyennes Industries
 - POCP : Photochemical Ozone Creation Potentiel
 - PVC : Polychlorure de Vinyle
 - UTPB : Usine de traitement des poteaux bois

Table des figures

1.1	Les 04 étapes de l'ACV selon les normes ISO 14040 et 14044 (Ottawa 1995)	8
1.2	Inventaire du cycle de vie d'un produit	11
1.3	Schéma conceptuel du cycle de vie d'un produit	15
1.4	Cycle de vie des poteaux électriques en eucalyptus	19
1.5	Cycle de production de l'acier avec extraction du fer	21
2.1	Région d'étude	30
2.2	site de l'UTPB de bamoungoum	33
2.3	Schéma d'une autoclave de traitement de l'UTPB de Bamoungoum	41
2.4	Le dépôt de bois d'eucalyptus saligna INÉDIT	43
2.5	cycle de vie du sciage des poteaux électriques en eucalyptus à Bamoungoum	45
2.6	cycle de production du poteau d'acier	46
2.7	production primaire d'une tonne l'acier à partir de minerai de fer	47
2.8	production secondaire d'une tonne d'acier	48
2.9	Récapitulatif des deux cycles de vie	49
2.10	Unité fonctionnelle	53
2.11	Analyse de l'inventaire de cycle de vie de poteaux en acier (PNUE,1986)	55
3.1	Impact par sous ensemble-Phase de production des PEE	63
3.2	Impact par sous ensemble-Phase de transport des PEE	64
3.3	Impact par sous ensemble-Phase d'utilisation des PEE	64
3.4	Impact par phase de vie des poteaux électriques en eucalyptus	65
3.5	Impact par sous ensemble-Phase de production des PEA	68

3.6	Impact par sous ensemble-Phase de transport des PEA	69
3.7	Impact par sous ensemble-Phase d'utilisation des PEA	69
3.8	Impact par sous ensemble-Fin de vie des PEA	70
3.9	Impact par phase de vie des poteaux électriques en Acier	70
3.10	Comparaison par indicateur des différents cas	71
3.11	Comparaison par phase de vie des différents cas	72
4.1	Treated wood council, 2012	85

Liste des tableaux

2.1	Questionnaires pour les poteaux électriques en eucalyptus	29
2.2	Exploitation des troncs d'eucalyptus en faveur de l'UTPB	32
2.3	Valeurs critiques Tanalith E 3485(Kg/m3)	36
2.4	Informations professionnelles de l'eucalyptus (AES-Sonel,1982)	44
3.1	Impacts par phase de vie des PEE	61
3.2	Impact par sous-ensemble-Phase de production des PEE	61
3.3	Impact par sous-ensemble-Phase de production des PEE	62
3.4	Impact par sous ensemble- phase de transport des PEE	62
3.5	Impact par sous ensemble-Phase d'utilisation des PEE	63
3.6	Impact par Phase de vie des PEA	65
3.7	Impact par sous ensemble-phase de production des PEA	66
3.8	Impact par sous ensemble-phase de production des PEA	66
3.9	Impact par sous ensemble-Phase de transport des PEA	66
3.10	Impact par sous ensemble-Phase d'utilisation des PEA	67
3.11	Impact par sous ensemble-Fin de vie des PEA	67

Introduction Générale

Un vaste choix de système de construction s'offre aujourd'hui aux architectes, aux ingénieurs, et aux concepteurs. A l'heure où le Cameroun souhaite être émergent en 2035, la réalisation de ces grands projets structurants comme le deuxième pont sur le Wouri, le Projet d'autoroute Yaoundé-Douala, les centrales hydroélectriques de Lom-Pamgar, le port en eau profonde de Kribi, l'exploitation de minerais de fer de Balam, la construction de logements sociaux, la constructions de grands stades de football, l'électrification, etc... Tous les matériaux de construction produisent un effet néfaste sur l'environnement (Ottawa 1995). On est en droit de se poser la question si l'exploitation des ressources naturelles se fait en tenant compte des générations futures. Autrement dit, quels sont les impacts ou dommages liés aux grands projets sur l'environnement ? Les ressources consommées sont-elles renouvelables ?

Nous essayerons de donner les éléments de réponse à ces questions en nous attachant sur l'électrification ; pas dans son ensemble mais en insistant sur les supports de lignes électriques. Il est donc question de mener une étude évaluative comparée de l'impact environnemental des poteaux électriques en eucalyptus et en acier dans la ville de Yaoundé dans le but de ressortir celui qui est mieux pour l'environnement. On dispose de plusieurs outils d'évaluation environnementale qui constituent pour des politiques des outils d'aide à la décision. A l'instar de l'Etude d'Impact Environnemental (EIE) régie au Cameroun par la loi -cadre N°96/12 du 05 août 1996 relative à la gestion de l'environnement(Cyrille NGOUANA KENGNE 2012), prévoit des impacts potentiels pouvant intervenir lors de la réalisation d'un projet

et les mesures d'atténuation de ces derniers sans toutefois les quantifier. Pour mener à bien cette étude, il est judicieux de passer par :

-chapitre 1 : Revue de la littérature

-chapitre 2 : Matériels et méthodes

-chapitre 3 : Résultats et discussion

-chapitre 4 : Implication dans le système éducatif

Et enfin la Conclusion générale.

—

REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1 Contexte et justification

La réalisation de cette étude trouve son fondement dans plusieurs textes de lois dont les plus pertinents sont :

*La loi N°96/012 du 05 aout 1996 portant loi cadre à la gestion de l'environnement, cette loi 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 »(Cyrille NGOUANA KENGNE 2012)

*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(Cyrille NGOUANA KENGNE 2012).

*Le décret N°2005/0577/PM du 23 février 2005 fixant les modalités de réalisation des études d'impact sur l'environnement(Cyrille NGOUANA KENGNE 2012).

1.2 Objectifs de l'étude

Cette étude a pour objectif de déterminer les incidences directes ou indirectes des poteaux électriques en eucalyptus et en acier sur l'équilibre écologique, économique et social dans la ville de Yaoundé. Elle devra également permettre à ENEO et ses sous-traitants d'optimiser dans la réalisation de choix des poteaux à implanter dans

la ville de Yaoundé tout en répondant aux normes environnementales.

1.2.1 Objectif général

L'objectif général de cette étude est d'examiner et de comprendre les impacts environnementaux des poteaux électriques en eucalyptus et des poteaux électriques en acier partant de l'extraction de la ressource jusqu'à leur fin de vie (élimination) en passant par la production, le traitement, le transport et l'utilisation.

1.2.2 Objectifs spécifiques

Pour atteindre la cible, il nous est indispensable de passer par les objectifs spécifiques suivants :

- . Identifier les impacts environnementaux d'un poteau électrique en eucalyptus extrait dans la région de l'ouest Cameroun et impactante à Yaoundé ;

- . Identifier les impacts environnementaux d'un poteau électrique en acier provenant de Chine dans la région de Shanghai et impactante à Yaoundé ;

- . L'identification et l'évaluation des impacts se feront 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.

1.3 Hypothèses de l'étude

l'étude porterait sur l'impact environnemental d'un poteau standard de 11 m de hauteur de classe G de diamètre au sommet $d=0,22$ m et de diamètre de base $D=0,30$ m (voir ANNEXE 3) les matières premières de poteaux électriques en eu-

calyptus sont supposées provenir de la région administrative l'Ouest-Cameroun, les matières premières de poteaux électriques en acier sont supposées provenir de Chine et utilisées dans la même région administrative Centre-Cameroun (voir figure 2.1).

1.4 Revue de la littérature

Tous les secteurs de l'industrie, toutes les activités commerciales laissent une empreinte sur l'environnement du fait qu'ils produisent de l'énergie ou de la matière première, produisent des déchets ou des effluents que l'on retrouve ensuite dans le milieu naturel. De tels impacts peuvent survenir au niveau local, transfrontalier ou mondial et comportent des implications pour la santé. Les outils environnementaux permettant d'évaluer ces impacts sont :

1.4.1 L'étude de l'impact environnemental

Outil permettant d'évaluer les impacts potentiels pouvant servir lors de la réalisation ou la mise en oeuvre d'un projet pendant ses différentes phases. Mesure en faveur de l'environnement permettant de contrebalancer les dommages qui lui sont causés par un projet et qui n'ont pu être évités ou limités par d'autres moyens.

1.4.2 L'audit environnement

C'est l'évaluation du fonctionnement et de l'efficacité d'un système de gestion mis en place en vue d'assurer la protection de l'environnement. L'audit environnemental est conduit en référence aux règlements, aux normes ou aux bonnes pratiques professionnelles. L'audit environnemental désigne un instrument de gestion comprenant une évaluation systématique, documentée, périodique et objective de l'efficacité de

l'organisation, du système de gestion et des procédures destinées à la protection de l'environnement. On distingue deux types d'audits :

- Audits externes réalisés par des entités externes à l'entreprise auditée, à la demande ou pas de ladite entreprise, en appliquant ses propres critères quant à la portée, l'organisation et la réalisation de l'audit ou, au moins, quant aux deux derniers aspects ;

- Audits internes réalisés par le personnel de l'entreprise ou par des entités externes à l'entreprise auditée, à la demande de ladite entreprise, et en appliquant des critères propres en ce qui concerne la portée, l'organisation et la réalisation de l'audit.

1.4.3 L'analyse de cycle de vie

Présentation

L'analyse de cycle de vie (ACV) est un outil de mesure des ressources nécessaires pour fabriquer un produit ou donner accès à un service, suivie de la quantification des impacts potentiels de cette fabrication sur l'environnement. La notion d'analyse de cycle de vie date de la fin des années 60 aux États-Unis où des chercheurs développent le « Resource and Environment Profile Analysis » (REPA), précurseur des bilans matières. En 1969, Coca-Cola commande au Research Institute of Meadwest une étude visant à comparer les coûts de fabrication, l'énergie utilisée, la disponibilité des matières premières et la possibilité de recyclage d'une bouteille en verre ou en plastique pour conditionner ses boissons. Les bilans matières et énergie sont par la suite élargis avec la nécessité de développer une méthodologie robuste et reproductible. La SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) publie en 1993 un référentiel de bonnes pratiques et en 1994, la France publie la

norme AFNOR X30-300.

Elle s'exprime en France suivant la norme NF P 01-010, selon 10 critères qui quantifient les impacts du produit ou du système sur l'environnement : consommation d'énergie, de matières premières, d'eau, production de déchets(ISO 14040,1997)...

Les normes

Selon l'ISO, il s'agit de la "Compilation et l'évaluation des consommations d'énergie, des utilisations de matières premières, et des rejets dans l'environnement, ainsi que de l'évaluation de l'impact potentiel sur l'environnement associé à un produit, ou un procédé, ou un service, sur la totalité de son cycle de vie". Le cycle de vie d'un produit, procédé ou service rassemble les phases de fabrication, transformation, utilisation et destruction. Cette méthode repose sur une démarche en 4 phases :

- la définition des objectifs et du champ de l'étude ;
- l'analyse de l'inventaire ;
- l'évaluation de l'impact ;
- l'interprétation des résultats obtenus en fonction des objectifs initiaux.

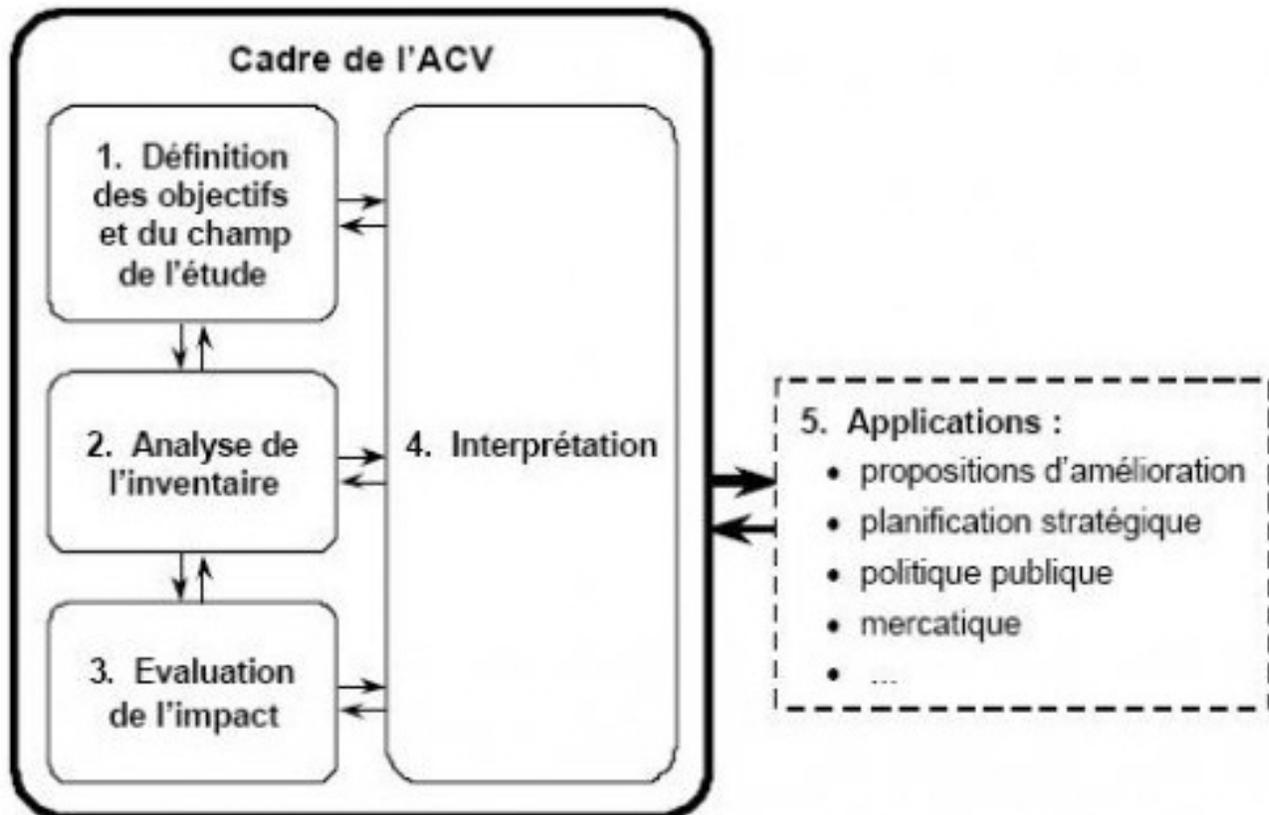


FIGURE 1.1 – Les 04 étapes de l'ACV selon les normes ISO 14040 et 14044
(Ottawa 1995)

*Définition des objectifs et du champ de l'étude

A quoi sert l'étude ?

Que cherche-t-on à montrer ?

A quoi servira l'ACV ?

A comparer un produit ?

A améliorer un produit, un service ou un procédé existant ?

A mettre en place une politique ?

Qui utilisera les résultats de l'étude ?

Telles sont les questions que doit se poser un analyste avant d'effectuer une ACV.

Cette analyse peut avoir pour but de comparer deux produits, il s'agit alors de BENCHMARKING, ou elle peut servir de document de travail pour la prise de décision politique (par exemple les carburants d'origine végétal ont fait l'objet de plusieurs ACV pour déterminer leur avantage écologique sur le carburant fossile) ou à l'élaboration des directives et de réglementations comme la directive camerounaise, ou plus simplement, elle peut permettre d'aider les décideurs à chercher à améliorer les performances environnementales de leurs produits. Une fois l'objectif de l'étude est défini, une série de décisions sont prises dans le but de définir les règles et les formalismes qui détermineront le déroulement de l'étude. Nous avons entre autres :

- i) Les frontières du système : définir les « process » inclus et exclus ;
- ii) La catégorie des impacts : quels aspects environnementaux sont à prendre en compte, lesquels ne sont pas les pertinents
- iii) Les unités fonctionnelles, les variables et les fonctions du système : les apports socio-économiques que le produit ou le service apporte.
- iv) Le public auquel est destinée l'ACV, et par conséquent, le niveau de précision de l'étude.

Un point très important de cette phase consistera à définir « **l'unité fonctionnelle** » qui est à la base de l'étude. Pour exprimer les résultats de l'analyse et les comparer, on définit l'unité fonctionnelle (UF). L'unité fonctionnelle est l'unité de référence dans une ACV. Elle comporte trois valeurs : la quantité, la fonction et le temps aussi appelé durée de vie typique (DVT). C'est un élément de mesure qui permet de quantifier la fonction remplie par le produit étudié. Autrement dit, 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 en compte à la fois une unité de produit et une

unité de fonction.

La DVT : c'est la durée de vie estimée d'un matériau ou d'un poteau. Chaque classe de matériau suivant sa nature a une durée de vie spécifique. Les poteaux en eucalyptus ont par exemple une DVT de 25 ans (d'après l'étude menée sur le terrain). Si on étudie un poteau en acier avec une DVT de 50 ans, les impacts liés aux poteaux en eucalyptus mis en jeu seront multipliés par deux.

* **L'inventaire du Cycle de Vie** Il a pour objectif d'identifier et de quantifier tous les flux entrants et sortants du système (émissions et rejets). Cette phase débute par une étape de collecte des données (les données proviennent soit des industriels, producteurs, soit de la littérature, soit de bases de données ; en général plusieurs sources sont utilisées). Une fois les données recueillies, elles doivent être validées (cohérence avec les objectifs de l'étude, qualité, représentativité, complétude des données). Celles-ci sont alors associées aux processus et flux élémentaires définis pour chaque étape du cycle de vie (Ottawa,1995).

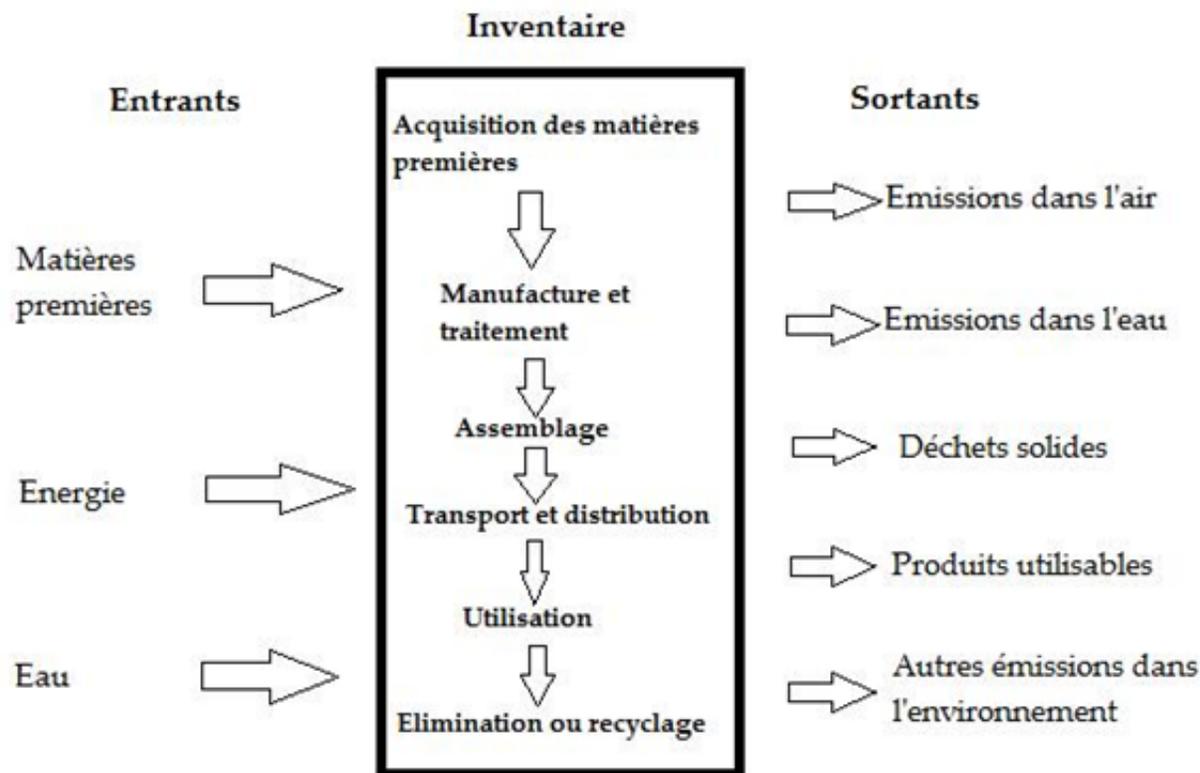


FIGURE 1.2 – Inventaire du cycle de vie d'un produit

*La phase d'évaluation

Cette phase permet finalement de « comprendre et d'évaluer l'ampleur et l'importance des impacts potentiels d'un système de produits sur l'environnement au cours de son cycle de vie » (définition de la norme ISO 14 040). Retour ligne automatique
 Cette phase comprend plusieurs étapes :

- . le choix des catégories d'impact (en principe les plus pertinentes pour l'étude : par exemple : émission de GES, écotoxicité terrestre, acidification des océans, etc.)
- . la classification (attribution des résultats de l'ICV ayant des effets similaires aux catégories d'impact sélectionnées),

. la caractérisation des impacts (conversion des résultats de l'inventaire en une unité commune pour la catégorie d'impact à laquelle ils ont été affectés). Ex : traduire tous les GES(gaz à effet de serre) en équivalent kg CO₂ pour évaluer l'impact sur le changement climatique.

Dans certains cas, les résultats peuvent s'exprimer en dommages, traduction des conséquences des impacts sur l'environnement (ex : dommage sur la santé humaine qui combine tous les impacts liés à cette problématique).

Certaines ACV proposent aussi, mais ce n'est pas obligatoire (contrairement aux précédentes), une étape de normalisation qui permet de rapporter les résultats obtenus à une information de référence : par exemple aux impacts moyens d'un Européen en 2010.

Enfin, il est fréquent que les résultats d'une ACV apparaissent sous forme de scores uniques. Dans ce cas, il y a en général une étape de pondération basée sur une "hiérarchisation des impacts".

***La phase d'interprétation**

Enfin, cette dernière étape a pour objectif

. De valider les différentes phases de l'ACV, notamment les hypothèses faites lors de la phase d'orientation ;

. De structurer les résultats d'ACV et les données de la modélisation ;

. D'établir des conclusions, limitations et recommandations ;

. D'identifier les phases du cycle de vie sur lesquelles il faut agir pour réduire l'impact environnemental du système.

Une ACV complète présente toujours une analyse de sensibilité portant sur un certain nombre de paramètres, comme par exemple les hypothèses de la 1ère phase (durée de vie des équipements par exemple). Les paramètres ayant le plus d'impact

sur les résultats sont identifiés. Cette étape permet de valider la robustesse des résultats.

*Norme ISO 14040, Management Environnemental - Analyse Du Cycle De Vie : principes et cadre. AFNOR, Il existe aujourd'hui de nombreux logiciels d'ACV qui permettent de calculer les impacts environnementaux des produits : BILAN PRODUIT, SimaPro, Wizard, EIME, GaBI, UMBERTO, KCL-ECO, The Boustead Model, EcoPro, EMIS, Ökobase, PEMS, ...

Références normatives (série ISO 14040) :

- Norme ISO 14040 : sert de cadre général à la méthode et à la déontologie. Fournit des prescriptions pour l'ACV en termes de transparence des méthodes et des données utilisées. Rend obligatoire la déclaration de la procédure utilisée et de la mise à disposition du public d'un rapport complet sur les résultats de l'étude.

- Norme ISO 14041 : couvre les deux premières phases de l'ACV (objectifs, champs de l'étude et inventaire).

- Norme ISO 14042 : décrit les lignes directrices de la phase d'évaluation de l'impact du cycle de vie

- Norme ISO 14043 : spécifie exigences et recommandations en vue de l'analyse des résultats de l'inventaire et de l'évaluation de l'impact du cycle de vie.

Principe de calcul

Les impacts considérés dans les ACV peuvent être rangés en deux grandes catégories : les impacts directs et les impacts indirects.

Les impacts directs : Ce sont les impacts sur l'environnement qui proviennent directement du produit considéré. Ici pour les déchets il s'agira des émissions dues aux déchets lors de leurs traitements (incinérations, enfouissement ...)

Les impacts indirects : . Les impacts dus à la construction des matériels nécessaires à la gestion des déchets : les constructions des camions, des installations impactent elles aussi l'environnement, ces impacts sont pris en compte dans les ACV ;

. Les impacts dus à l'utilisation des matériels : il va s'agir ici principalement des impacts provenant de la consommation nécessaire au fonctionnement des matériels (essences, électricité, eau,);

. Les impacts évités : le recyclage permet d'éviter l'utilisation de matériaux neufs, et de leurs Confections. La valorisation énergétique permet d'éviter une autre production d'énergie, qui elle aussi impacte l'environnement. La gestion des déchets permet donc aussi d'éviter des impacts environnementaux grâce au recyclage et à la valorisation énergétique. Le recyclage est donc considéré comme un bénéfice environnemental, les impacts évités sont notés négativement.

Les impacts sont qualifiés de bénéfique pour l'environnement lorsque l'indicateur est négatif : cela signifie que la gestion des déchets permet d'éviter la dégradation de cette indicateurs. Au contraire lorsque l'indicateur est positif cela signifie que la gestion des déchets dégrade l'état actuel de l'environnement sur l'indicateur(Thomas Brisset,Abibois).

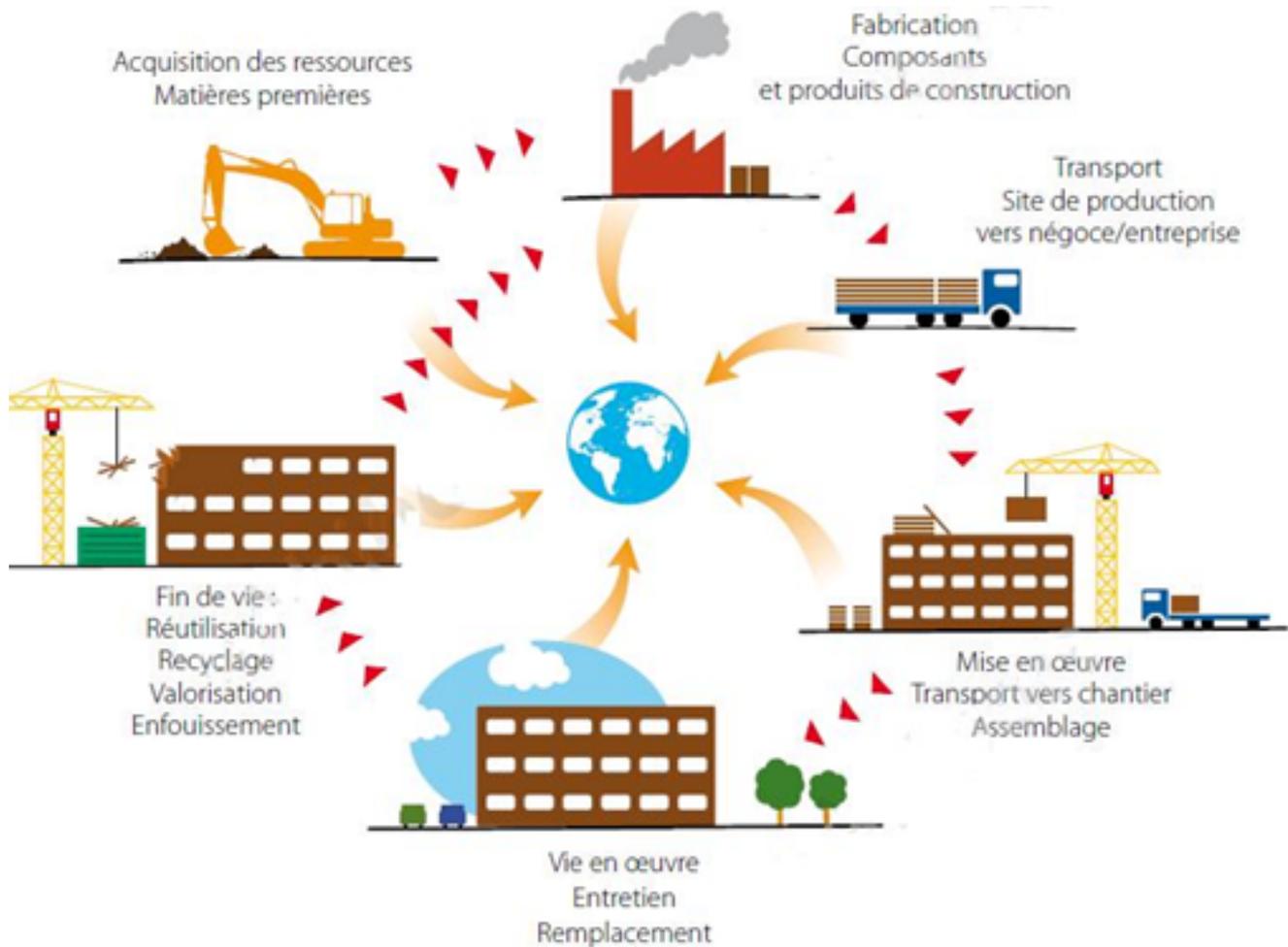


FIGURE 1.3 – Schéma conceptuel du cycle de vie d'un produit

1.5 L'analyse de cycle de vie et les poteaux électriques

Au début des années 90, certains États ont commencé le passage des poteaux électriques d'eucalyptus aux poteaux électriques en acier en raison supposée d'avantages économiques au-dessus du bois : Le Texas au début des années 90, le Nevada l'Arizona en 1997. Les premiers outils sont apparus dans ces années 90 au Canada en 1997 par Institut Canadien des bois traités (ICBT) et la société Américaine Western Wood Preservers Institute (WWPI), c'est un outil utile pour personnes de la région du pacifique ; et aux Etats unis en 2013 : COMPARAISON DE LA PERFORMANCE

ENVIRONNEMENTALE DES POTEAUX ÉLECTRIQUES FABRIQUÉS À PARTIR DE BOIS ET L'ACIER GALVANISÉ DANS LE SUD-EST DES ÉTATS-UNIS ET TRAITÉS AVEC DU Celcure AC-450 (Léonardo Academy, 2013). D'autres outils sont apparus en Grande Bretagne, en Finlande, en Suisse et en Autriche. La plupart de ces outils ont été comparés dans le cadre du réseau thématique PRESCO. Le projet E-CO-HOUSING a favorisé l'extension de l'ACV. Ce projet consiste à disséminer les résultats et à promouvoir l'ACV dans le secteur de la construction. Le CSTB de Grenoble a élaboré une base de données française sur les produits de construction, INIES, puis le logiciel ELODIE a été développé en 2008. Une base commune aux secteurs du bâtiment et des infrastructures de transport, DIOGEN est en cours de développement. L'association HQE (« Haute Qualité Environnementale ») a longtemps préféré l'ACV à un référentiel basé sur 14 « cibles » abordant séparément les questions de métaux, d'énergie, d'eaux, de déchets, etc. la version la plus récente intègre l'ACV en fin 2010.

1.6 ACV des poteaux électriques

1.6.1 ACV des poteaux électriques en eucalyptus

À l'origine, la diversification de la production obtenue à partir d'eucalyptus avait intégré la production de poteaux. L'idée d'implantation d'une unité de préparation et d'imprégnation de poteaux semblait donc logique et évidente. Eucalyptus, arbre de la famille du myrte, dont le genre réunit près de 450 espèces. L'eucalyptus est originaire d'Australie et reste l'élément prépondérant des forêts du sud-Est du pays où il est recherché pour la qualité de son bois. Les eucalyptus se caractérisent par leurs feuilles de couleur blanchâtre, lisses et glauques, disposées de façon que la

tranche soit exposée aux rayons du soleil, et par leur écorce liégeuse dégageant un arôme particulier. Ce sont des arbres souvent très grands (ils peuvent atteindre 45 m de haut). Sa répartition actuelle est très vaste depuis le dernier siècle. Il a été introduit dans tous les pays où règnent des conditions climatiques favorables (l'eucalyptus craint le froid). C'est un arbre très intéressant pour sa croissance rapide et sa plasticité. Le spectaculaire développement des plantations d'eucalyptus et son programme à long terme place le Congo au 1er rang des pays Africain. Voyons comment ces poteaux naissent jusqu'à leur fin de vie ; mais, avant d'y arriver, il est à noter que nous étudieront uniquement l'eucalyptus provenant d'une seule région du Cameroun.

Provenance de l'eucalyptus

En pays Bamiléké, l'introduction de l'eucalyptus date des années 1920 (Pouomogne, 1983 ; Mbah Dekolla, 1990). Pour amener les paysans à adopter l'espèce *E. saligna* pour laquelle les essais s'étaient avérés concluants, les services forestiers coloniaux eurent recours à différentes stratégies (Tchanou 1975). Ainsi, pour assurer l'adhésion de ces paysans à la sylviculture de l'eucalyptus, des parcelles expérimentales furent installées et on insista particulièrement sur la rapidité de croissance de ce ligneux, ce qui eut pour effet de fasciner les paysans. Dès 1934, l'administration coloniale française signe des arrêtés de création pour 4 périmètres de reboisement (Bangou, Dschang, Baleng, Baloungou). Les opérations de boisement étant généralement conduites par les officiers de l'armée française, l'eucalyptus sera désigné par des expressions comme « Tse captain », arbre du capitaine, ou « Tse ndak », arbre du blanc. Malgré l'engouement individuel des paysans, ce sont surtout les collectivités locales, les églises et les écoles qui les premières vont planter des eucalyptus sur des

surfaces assez considérables. Les pépinières se multiplieront dès lors et, vers 1956, le pari semble largement gagné : Tchanou (1975) peut écrire qu'il existe déjà, en 1956, 500 ha de plantations denses d'eucalyptus sur les hautes terres de l'Ouest Cameroun. Cinq ans seulement après, cette superficie sera pratiquement triplée, passant nous l'apprend Makon (1961) à 1300 ha. Mais il faut attendre 1970 pour que l'eucalypture s'implante véritablement en pays Bamiléké (Tchawa 1991). Aujourd'hui, cet arbre a pris tellement d'envergure que certains auteurs (Fotsing 1992) n'imaginent pas les paysages du pays Bamiléké sans la silhouette efflanquée des eucalyptus.

1.6.2 Cycle de vie de poteaux électriques en eucalyptus

Nous présentons ici le cycle de vie du sciage de l'eucalyptus et le cycle de vie de poteaux électriques en eucalyptus.

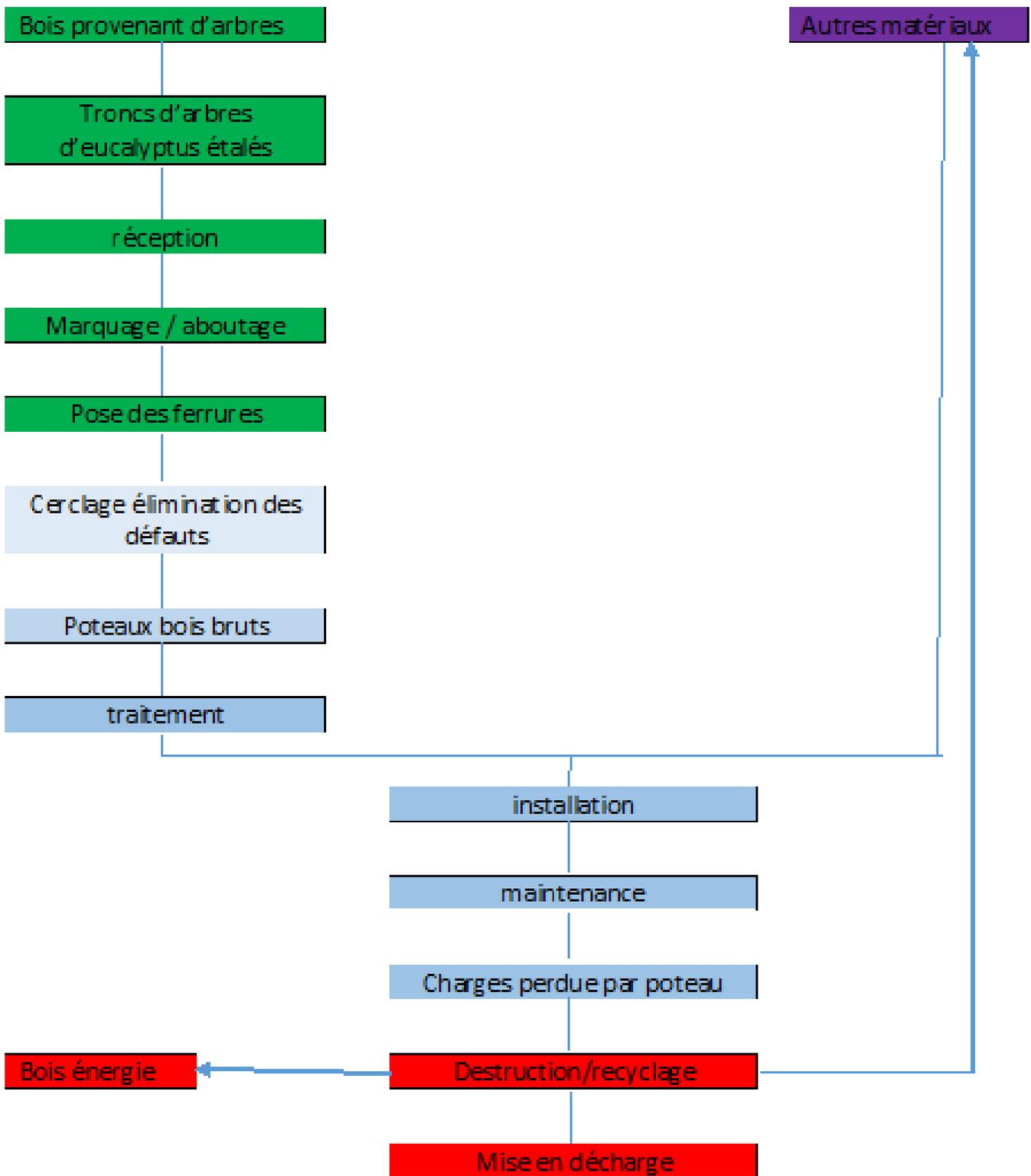


FIGURE 1.4 – Cycle de vie des poteaux électriques en eucalyptus

1.6.3 ACV des poteaux électriques en acier

L'acier

L'acier est un alliage de fer et de carbone. La teneur massive en carbone y est inférieure à 2 pour cent (Béranger, 2006). Au-dessus de cette valeur, le métal formé prend le nom de fonte. D'autres éléments chimiques comme le chrome, le nickel ou le manganèse peuvent être ajoutés à l'alliage pour en modifier les propriétés et obtenir les différents types de l'acier (Yellishetty Mudd,Ranjith, 2011). Selon que l'acier est destiné à être utilisé comme support de ligne électrique, dans le bâtiment, l'électronique, la construction automobile, l'emballage, l'énergie etc., il devra présenter des caractéristiques adaptées. On pense souvent aux propriétés physiques mais elles peuvent aussi être par exemple esthétiques pour le les poteaux électriques, les bâtiments ou l'électroménager Ces propriétés sont obtenues :

Au premier ordre par ajustement de la teneur en carbone : moins il y a de carbone, plus l'acier est déformable ; plus il y en a, plus l'acier est dur et résistant, par l'application d'une métallurgie subtile combinant maîtrise de la composition chimique à l'aciérie et des traitements thermomécaniques au laminage, par un éventuel revêtement métallique ou organique mince final. L'amélioration permanente des propriétés d'usage de l'acier est au coeur de la sidérurgie. C'est ainsi que 40 pour cent des nuance utilisées aujourd'hui n'existaient pas il y a 5 ans.

Les aciers sont répartis en 3 classes en fonction de leur composition chimique : les aciers non alliés pour lesquels la teneur en quelque 25 éléments chimiques ne dépasse pas une valeur limite fixée par une norme européenne, les aciers inoxydables qui contiennent au minimum 10,5 pour cent de chrome et au maximum 1,2 pour cent de carbone, les autres aciers alliés qui ne sont pas des aciers inoxydables.L'acier

est l'un des matériaux les plus répandus à travers le monde de nos jours. Sa production annuelle, qui était de 1490 millions de tonnes en 2011 (World Steel Association, 2012), croît rapidement, suit l'influence de la demande croissante des pays en développement notamment le Cameroun. A cause de cette augmentation de la production et de problématiques liées au développement durable, les technologies de production d'acier sont en constante évolution.

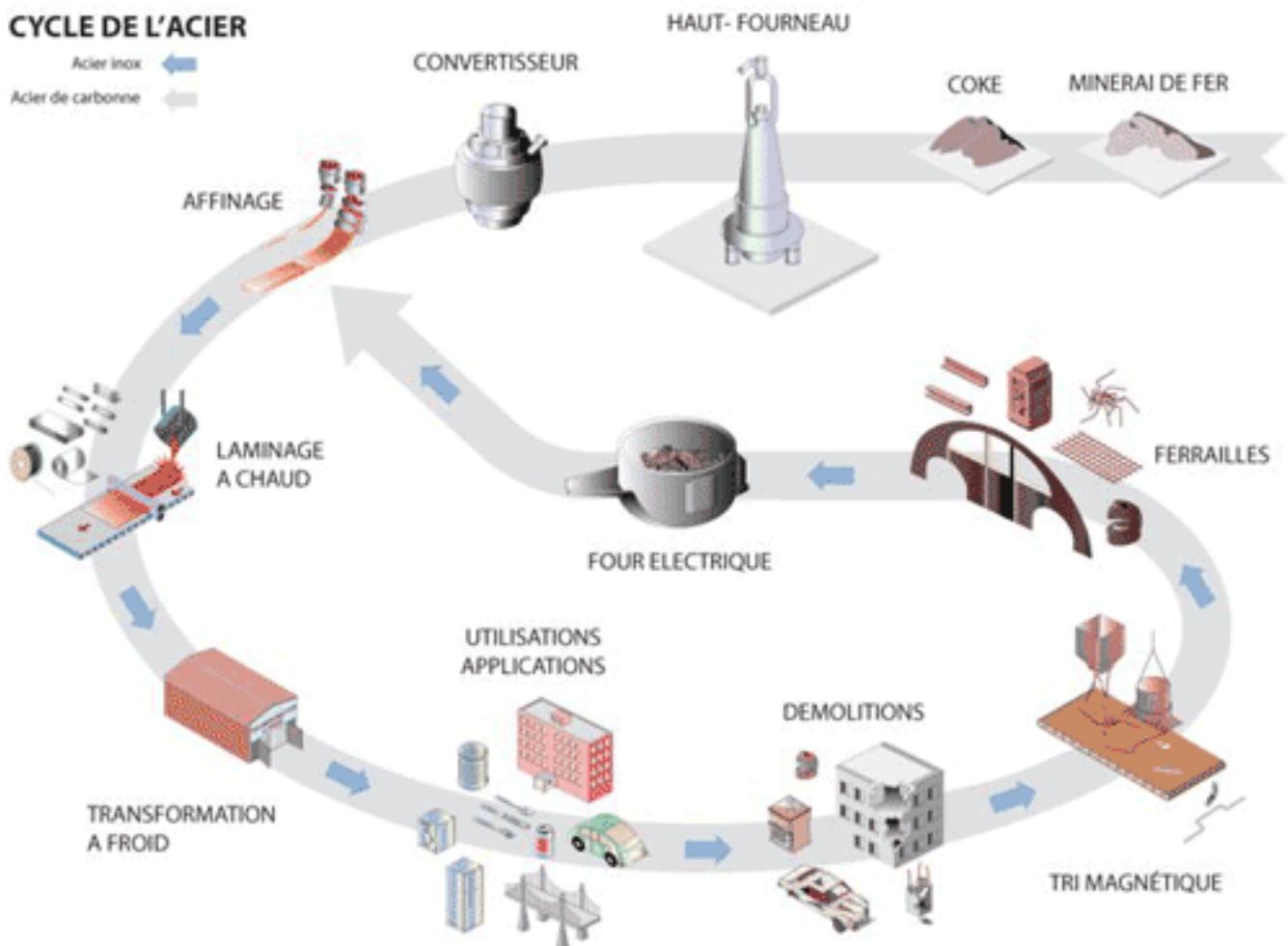


FIGURE 1.5 – Cycle de production de l'acier avec extraction du fer

Le cycle de production de l'acier comprend les étapes suivantes :

La production primaire

se compose en plusieurs unités : la cokerie, l'agglomération, le haut fourneau et

le convertisseur à oxygène. elle a une capacité de production de 1 à 10 Mt par an (Astier, 2009).

i) **l'extraction de minerais du fer ;**

ii) **l'obtention de la coke :** on le prépare en calcinant la houille à plus de 1000 °C (cokéfaction). Il ne possède pas de matière volatile, brûle sans fumée ni odeur. C'est un agent réducteur dans le procédé de coulée de la fonte brute et c'est un combustible à grande capacité calorifique. Coke= carbone (90 %) + cendre (Encarta 2012) ;

iii) **la fonte dans les haut-fourneaux :** l'unité d'agglomération permet la préparation des fines de minerais de fer destinées au haut fourneau. Elle inclut une étape d'homogénéisation soit de grossissement des particules ainsi qu'une cuisson. Le haut fourneau est l'étape ayant pour but de réduire et de fondre le fer contenu dans le minerai. En plus du coke et de l'aggloméré comme le minerai d'origine, est un mélange d'oxyde de fer et de gangue. Il est versé dans le haut-fourneau en couches alternées avec coke. De l'air chaud (jusqu'à 1250°C) est injecté par des tuyères en partie basse, ce que active la réduction des oxydes de fer par le carbone de coke. Dans la partie basse, appelée creuset, on obtient la fonte liquide qui contient :

-94 à 96 % de fer

-3 à 5 % de carbone (reste de coke non brûlé)

-1 à 2 % d'éléments non ferreux (soufre, silicium, phosphore, etc.) contenus dans les matières enfournées et consomme du charbon et de l'oxygène.

Une partie du coke peut être remplacée par du charbon pulvérisé injecté au niveau des tuyères du haut-fourneau. La gangue liquide se sépare de la fonte, en raison de sa faible densité, et constitue un co-produit valorisé : le laitier de haut fourneau. La fonte liquide, récupérée en bas du haut-fourneau est acheminée vers l'aciérie au

moyen de wagons-poches ;

Vi) **le convertisseur à oxygène** est la transformation de la fonte en acier liquide. On ajoute à la fonte des ferrailles internes et externes et de la chaux qui sont chargées dans le four. Par soufflage ou injection de l'oxygène pur, le carbone et les impuretés présentes dans la fonte sont oxydées.

La production secondaire qui est la mise en forme et le traitement

La production secondaire est le rassemblement des aciers provenant du convertisseur et du four à arc électrique. Elle permet d'obtenir une uniformité en composition et en température et de contrôler la composition de l'acier pour former le type d'acier voulu en ajoutant des éléments d'alliage ;

V) **l'affinage** : Le procédé d'affinage du fer fondu par insufflation d'air fut mis au point par le Britannique Henry Bessemer, qui créa le four Bessemer, ou convertisseur Bessemer, en 1855. Ce procédé utilisait un four piriforme (cornue), qui pouvait être incliné sur le côté pour le chargement et l'évacuation. De grandes quantités d'air étaient insufflées dans la masse de métal fondu. L'oxygène se combinait alors avec les impuretés et les amenait à l'extérieur.

Aujourd'hui, on a amélioré ce procédé en remplaçant l'air par un courant d'oxygène haute pression pratiquement pur. Des milliers de mètres cubes d'oxygène sont introduits dans le four à l'aide d'une lance et se combinent avec le carbone et d'autres composés non désirés. Il se produit alors une réaction à haute température, qui provoque la calcination rapide des impuretés de la fonte et la transforme en acier. Le procédé d'affinage dure au plus cinquante minutes, et environ 275 t d'acier peuvent être produites en une heure ;

Vi) **Laminage** : elle permet la mise en forme du produit. Nous distinguons deux types le laminage à chaud et le laminage à froid. Dans le laminage à chaud, le

demi-produit est réchauffé dans un four puis il passe successivement entre plusieurs cylindres tournants à sens inverse. Il en découle un amincissement et donc un allongement du produit. Les procédés diffèrent selon le type de produit voulu et son utilisation. On obtient le plus souvent des produits assez fins. Le laminage à froid est alors utilisé : l'acier froid, issu du laminage à chaud, est traité, lubrifié avec de l'huile, puis il passe entre des cylindres de laminage. Cette méthode fragilise le métal, il subit ensuite un recuit pour retrouver une structure homogène ;

vii) **Revêtement par trempe ou par électrodéposition** : Il permet de protéger le métal lors de son utilisation future par exemple la galvanisation, le chromage ou l'étamage.

viii) **Four électrique** elle ne nécessite que l'électricité comme source d'énergie. L'absence d'utilisation de charbon évite alors la formation de CO₂ dans les fours ou réacteurs.

1.7 Quelques termes couramment utilisés en Analyse de Cycle de Vie

« **Craddle to grave(berceau au tombeau)** » : décrit tous les processus qu'un produit ou un composant traverse depuis l'extraction des matières premières à l'obsolescence et l'élimination finale. Il n'assure aucune valeur résiduelle à la fin de vie.

« **Craddle to gate (du berceau à la porte)** » : décrit les impacts associés au produit, matériaux ou processus du point où ils sont conditionnés et prêts pour la livraison sur le marché.

« **Craddle to site (du berceau au site)** » : décrit les impacts associés avec

les fournisseurs (matières premières), le transport, la fabrication, l'emballage, le transport et la fabrication sur le site. Dans le cas des impacts de la construction, ce serait également tout traitement requis sur le site pour l'utilisation du produit ou du composant.

« **Craddle to craddle(du berceau à berceau)** » : semblable au berceau à tombeau, mais suppose qu'un composant obsolète a une valeur résiduelle à la fin de sa première vie. Il 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.

MATERIELS ET METHODES

L'énergie électrique est un facteur essentiel de développement et de l'évolution des sociétés humaines. Que cela soit sur le plan de l'amélioration des conditions de vie ou sur le plan de développement des activités industrielles. Ces énergies sont acheminées vers les utilisateurs grâce aux câbles de réseaux et des supports (poteaux électriques) sur lesquels on fixe ces câbles : les poteaux électriques qui feront l'objet de ce chapitre.

2.1 Matériels et méthodes d'étude

2.1.1 Matériels d'étude

Pour atteindre notre cible, nous avons besoin des matériels suivant :

- Le logiciel BILAN PRODUIT, qui est le fruit de recherche du département des sciences de la terre et de l'environnement de l'université de Cergy-Pontoise dans l'île de France qui permettra de calculer les différents impacts. Nous allons approfondir les connaissances sur ce logiciel dans le paragraphe (2.7.4.).

- Les logiciels MapInfo et ARCGIS (versions d'évaluations) qui nous permettrons de cartographier les différentes régions tout en calculant les distances entre différentes villes de notre zone d'étude.

- Un PC équipé des logiciels de traitement texte.

- Un poteau électrique en eucalyptus
- Un poteau électrique en acier

2.1.2 Approche d'étude

L'approche d'étude ici est l'ensemble des procédés et des techniques nous permettant d'obtenir les informations nécessaires à la réalisation de l'étude. Ces informations ne s'obtiennent pas au hasard, pour cela, on identifie d'abord les unités d'observation (les personnes qui pourront nous donner les informations dont nous avons besoin). Le choix des nombreuses méthodes utilisées pour collecter des données halieutiques dépendra des variables à mesurer, de leur provenance et des ressources disponibles; Puis, nous devons déterminer la technique de récolte d'information. Les principaux types sont les suivants :

L'enregistrement :

Les registres et les licences sont particulièrement utiles pour un dénombrement complet, mais se limitent aux variables qui évoluent lentement.

Les questionnaires :

Ce sont des formulaires qui sont remplis et retournés par les déclarants. C'est une méthode peu coûteuse, utile là où les taux d'alphabétisation sont élevés et les déclarants coopératifs.

Les entretiens : Ce sont des formulaires qui sont remplis à l'occasion d'un entretien avec le déclarant. Plus coûteux que les questionnaires, ils sont préférables pour des questions plus complexes, en cas de faible alphabétisation ou de moindre coopération.

Les observations directes : Les mesures effectuées directement sont la méthode la plus précise pour de nombreuses variables, comme les captures, mais sont souvent

coûteuses.

Les déclarations : La principale alternative aux mesures directes consiste à demander aux producteurs de poteaux électriques et autres intéressés de rendre compte de leurs activités. Le système des déclarations suppose alphabétisation et coopération mais peut être renforcé par une obligation légale et par des mesures directes.

Les ressources documentaires : Ce sont les sources d'information qui n'ont pas été produites ou pas par le chercheur. Elles sont variées : chiffrées ou pas, publiques ou privées, écrites, etc. ces sources permettent à une analyse rétrospective et ne peuvent pas être influencées par le chercheur. Elles ont aussi un inconvénient de ne pas représenter les catégories prédéfinies qui ne sont pas spécialement adaptées au problème posé. Seule la première méthode n'est pas utilisée dans le cadre de notre travail.

Dans cette étude, les matières premières nécessaires à la fabrication des poteaux électriques en eucalyptus proviennent de la région de l'Ouest, celles nécessaires à la fabrication des poteaux électriques en acier proviennent de chine. Les produits finis seront utilisés dans la région du centre plus précisément dans le département de Mfoundi comme indiqué dans les hypothèses.

TABLE 2.1 – Questionnaires pour les poteaux électriques en eucalyptus

localisation	
D'où proviennent les poteaux électriques eucalyptus que vous utilisez ?	
Quels sont les types de ces eucalyptus ?	
Production et traitement	
Sous quelles dimensions vous sont-ils livrés ?	
Quelle quantité de poteaux bois faut-il pour fabriquer un poteau électrique en eucalyptus de 11 m de hauteur ?	
Quelle quantité d'énergie cette fabrication peut-elle consommer ?	
Quels produits utilisez-vous pour le traitement de ces poteaux ?	
Environnement	
Qu'entendez-vous par environnement ?	
La protection de cet environnement fait-elle partir de vos priorités ?	
De quelle manière ?	
Pensez-vous qu'il est préférable de remplacer l'eucalyptus par un autre matériau pour les poteaux électriques ?	
Pourquoi ?	
Quantité	
Qualité	
Coût	

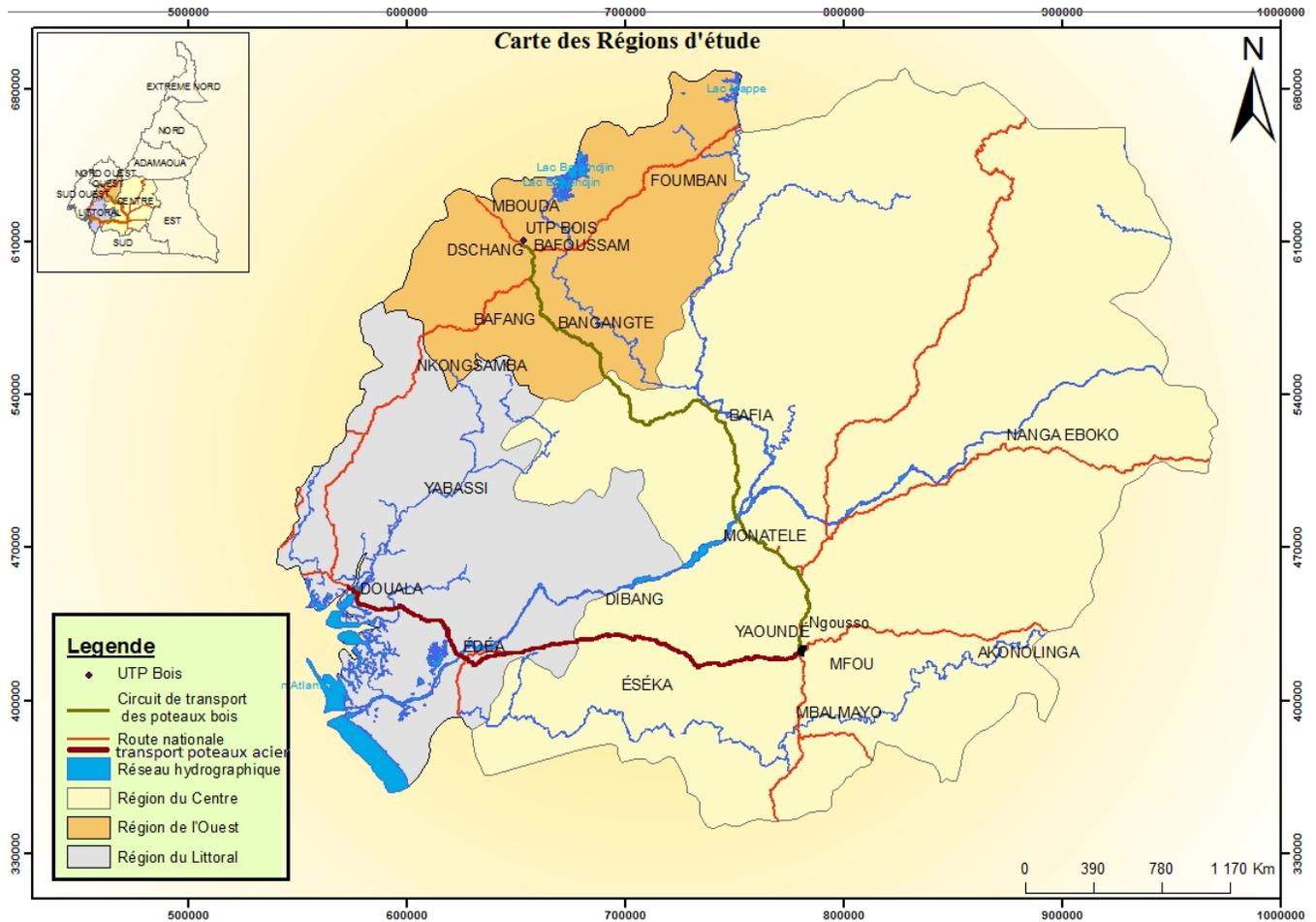


FIGURE 2.1 – Région d'étude

2.2 Cycle de Vie (CV) des poteaux électriques en eucalyptus

Le bois est constitué principalement de matières organiques (celluloses et lignine) et d'un faible pourcentage (de 1à 15%) d'éléments minéraux. La composition de ces substances est différente selon le type d'essence.

2.2.1 Propriétés de l'eucalyptus

i) Provenance

Ils proviennent de la région de l'Ouest. De nos jours, un réseau d'activité s'est développé autour des bois eucalyptus. Dans les régions de l'ouest et du nord-ouest, des réserves forestières aménagées par des coopératives ou particuliers tout comme des plantations individuelles offrent une grande partie de leur espace à la culture de ces arbres. La présence de l'UTPB non loin de ces lieux explique par ailleurs ces politiques sylvicultrice et économique.

Le poteau bois, produit phare du marché d'eucalyptus dans ces zones oriente les décisions d'exploitation d'arbre eucalyptus. En effet, l'exploitation des poteaux bois débute quand le pied d'arbre eucalyptus a 7 ans, âge où les dimensions répondent déjà à des normes d'une classe de poteaux utilisables par ENEO. L'exploitation en faveur de l'UTPB suit un ensemble d'étapes allant de la prospection au transport vers les sites de la société, étapes contenues dans le tableau 2.2

TABLE 2.2 – Exploitation des troncs d'eucalyptus en faveur de l'UTPB

prospection
Les prospecteurs parcourent les zones de production, visitent les champs et évaluent les quantités probables afin de se faire une idée de la capacité des plantations à satisfaire les commandes reçues. Ces prospecteurs sont également chargés de négocier les prix et de fixer les conditions de paiement.
abattage
Les arbres répondant aux caractéristiques souhaités sont probablement marqués d'une peinture de couleur frappante après quoi ils sont abattus à l'aide des tronçonneuses. Houppier et branches sont supprimés pour faciliter le premier dimensionnement Conformément aux classes possibles en veillant à laisser des petites marges dans le cas où les défauts en résultent.
débardage
Les troncs d'arbre sont transportés de leur lieu de coupe soit vers une route pour acheminement facile soit vers un lieu de dépôt provisoire ou direction vers le site de bamougoum dans le cas de petites dimensions.

Il est nécessaire de présenter concrètement les poteaux électriques eucalyptus sur l'ensemble de son cycle de vie partant de la coupe jusqu'à sa fin de vie.

ii) Présentation de l'UTPB

UTPB est l'unité de traitement des poteaux bois, acronyme de l'unité de traitement des poteaux-bois, c'est un service de la sous-direction des services généraux d'ENEO-CAMEROUN. Cette unité est constituée comme la cheville ouvrière d'ENEO-CAMEROUN en matière de fourniture des supports bois pour le transport

d'énergie électrique par des lignes de basses ou de moyennes tensions. Ce site est rendu opérationnel dès 1979 (AES-SONEL.2day n°13, 2007). A cette époque, c'était une station de traitement de poteaux-bois spécialement mono localisée à Bamougoum dans la zone périurbaine de Bafoussam, dans le département de la Mifi et connu sous le nom de STPB. Les altitudes des sites de Bamougoum et de Bafounda situées à 10km l'un de l'autre sont respectivement de 1317m et 1388m (Treated wood council 2012). Les données provenant de l'étude faite par Fouweban et Houllier (1995) indiquent que sur le plan pédologique, les sols de la zone de l'ouest se répartissent entre les sols hydromorphes, les sols ferrallitiques.



FIGURE 2.2 – site de l'UTPB de bamougoum

iii) Activités de l'UTPB

Ses activités tournent principalement autour du poteau-bois; elles couvrent la prospection de l'exploitation des plantations généralement menée par des intermédiaires, la production des poteaux bruts à la suite des opérations de prétraitement et de traitement chimique des poteau-bois. Les spécificités des poteaux vont de 8m à 15m en progression arithmétique de raison 1; chacune de ces dimensions étant éclairée en 07 classes (A, B, C, D, E, F, G) suivant les diamètres ou les circonférences à 1m de la base et du sommet du poteau ou encore suivant l'effort que peut supporter un poteau à 75 cm de sa tête. Pour les lignes triphasées, l'UTPB utilise également des madriers en azobé de forme cylindrique de longueur 2,40 m, 3,40 m, 4,40 m, 6,40 m tous ayant une section droite carrée de $100 \text{ cm}^2 (10\text{cm} \times 10\text{cm})$. La durabilité naturelle de cette essence justifie sa mise en réseau sans traitement chimique préalable. Un autre grand pan de l'activité de l'UTPB est l'approvisionnement en produit de préservation du bois : le TanalithE3485, le CCA; le Celcure 1200 Kg de Tanalith sont contenus dans chaque cubitainer livré par la société CHELCOM qui représente au Cameroun l'entreprise anglaise ARCH TIMBER PROTECTION.

iv) Évolution historique des produits de traitement d'eucalyptus

Le premier produit de traitement de poteaux par l'UTPB est le CCA. Il existe 03 types de CCA (A, B et C), caractérisés par des concentrations différentes en oxyde de cuivre, de chrome et d'arsenic. Le type A quasiment disparu et le type B en voie d'interdiction (il contient plus d'arsenic et moins de chrome). Le type C représente d'après les professionnels le meilleur compromis efficacité/protection de l'environnement grâce à un meilleur rapport chrome/arsenic (il a l'inconvénient d'être cher). En ce qui concerne la toxicité du CCA, il faut distinguer les sites de production

et les sites d'imprégnation, pour lesquels les réglementations officielles concernant les installations classées sont différentes. Le produit pur est classé "nocif", mais les emballages portent la mention "toxique", car le produit est également "corrosif" et XYLOCHIMIE (société) a estimé utile de choisir le symbole DANGER le plus fort, pour la protection des travailleurs amenés à l'utiliser. Au niveau mondial, 120000 tonnes de CCA à une concentration de 3% sont injectées dans le bois. Des essais réalisés par le centre technique du bois et de l'ameublement (CTBA) de France sur des rondins sur lesquels on fait tomber 50 mm de pluie montrent une perte d'arsenic de 0,1g/m³. Toutes ces raisons ont conduit les autorités et l'UTPB à passer au Tanalith (article L.22-1 et L.22-4).

Le Tanalith est un produit aqueux de préservation du bois qui contient du cuivre et des biocides organiques (triazoles). Lorsqu'ils sont imprégnés dans le bois, les composantes de préservation se lient à la structure du bois. Le bois traité sous pression de Tanalith E 3485 apporte une protection à long terme contre les risques de dégâts dus aux champignons et aux insectes y compris les termites pour les applications avec ou sans contact avec le sol, à l'intérieur ou à l'extérieur. Le bois traité sous pression de Tanalith E 3485 a une teinte verte naturelle. Après exposition en extérieur, la couleur verte évolue lentement vers la teinte chaude brin miel puis prend un gris argenté naturel avec le temps. Les propriétés hydrofuges dont bénéficient les bois traités sous pression au Tanalith Extra en font le matériau idéal pour les applications décoratives. Lorsque le bois est traité et séché à un degré d'humidité de moins de 20% et à l'équilibre ou dans les limites de 5% de son degré anticipé d'humidité en service peut être collé avec la plupart des colles du commerce. Les principaux biocides du Tanalith E sont le cuivre et le Tébucobazole. Les valeurs critiques apportées par le centre technique du bois et de l'ameublement sont indiquées

dans le tableau ci-après :

TABLE 2.3 – Valeurs critiques Tanalith E 3485(Kg/m³)

	Avec termites	Avec termites	Sans termites	Sans termites
Classe de risque	Résineux	feuillus	Résineux	feuillus
1	11,9	11,9	3,1	3,1
2	11,9	11,9	11,9	11,9
3	11,9	11,9	11,9	11,9
4	16,0	32,0	16,0	32,0

Le pH de la solution est de 9,2, la composition du produit est la suivante : Acide borique : 5% m/m, Hydroxyde carbonate de cuivre : 22,5% m/m, Tébucoazole : 0,5% m/m. Ce produit est aussi très toxique pour l'environnement à l'état pur. Après ce produit, l'UTPB juge utile d'utiliser le CelcureAC-450.

Le CelcureAC-450 est un produit de préservation du bois à base d'eau qui contient un système quaternaire de cuivre alcalin, y compris un Co-biocide organique (un produit quaternaire). Ce produit de préservation livré en concentré liquide et des solutions diluées sont appliqués au bois de construction lors d'une imprégnation employant un processus de traitement du bois industriel et contrôlé sous vide et pression. Il est uniquement recommandé à la préservation des bois. Après dilution, on obtient une concentration de 1% à 10% m/m selon les spécialisations de traitement . La couleur de la solution est bleue avec une densité (Kg/cm³) de 1,0-1,1 ; une odeur légèrement douce, odeur d'amine et un pH de 9-11. Le bois traité doit être manipulé selon les règles de sécurité mentionnées sur l'étiquette du produit notamment, toutes surfaces exposées par forage ou une coupe doit impérativement être retraitée avec un produit de préservation. L'absence de traitement de coupe peut considérablement

réduire l'efficacité du traitement industriel de préservation. Tout ce grand ensemble d'activités de traitement est de deux ordres : les activités menées au parc à bois de Bafounda et celles menées à l'usine de Bamougoum.

v) **Activité du parc de bafounda**

Bafounda est le lieu des opérations de prétraitement des poteau-bois. Les troncs d'arbres d'eucalyptus venant des plantations sont acheminés à cet endroit pour être transformés en poteaux bruts prêts au traitement chimique. C'est également en ces lieux que sont stockés les poteaux traités venant de l'usine et en attente d'être expédiés dans les différents services de D'ENEO de part le Cameroun. Ce site s'étend sur une superficie de 5 ha.

L'opération consiste à sélectionner les troncs d'arbres et à les dimensionner selon les caractéristiques telles que spécifiées. Contrairement à l'aide d'un double décimètre, d'un mètre ruban et d'un morceau de craie, les opérateurs apprécient et marquent d'abord à la craie la hauteur du tronc d'arbre de forme tronc-conique, ses circonférences à 1m de la petite base (sommet du poteau) et à 1m de la grande base (base du poteau) , ces marques sont ensuite renforcées à la peinture à huile éliminant les frontières de la coupe à la base et au sommet du poteau.

Tri et séchage des poteau-bois

Les engins lourds entrent de nouveau en action dans cette étape pour trier les poteaux en fonction de leur taille et classe et les disposent sur des aires appropriées pour séchage. Toutes ces activités qui conduisent à l'obtention des poteaux bruts constituent l'opération de prétraitement transformant les troncs d'arbres d'eucalyptus en des poteaux prêts à être expédiés à l'usine de Bamougoum pour le traitement chimique.

Activités de l'usine de Bamougoum

Les poteau-bois prétraités provenant de Bafounda sont acheminés à Bamougoum pour être traités dans les deux usines que compte ce site.

Le traitement des poteau-bois consiste en un procédé d'imprégnation industriel en autoclave pour vide encore appelé procédé à cellules pleines. Le principe est simple vise à vider préalablement par dépression les gaz et les fluides vitaux contenus dans les espaces intercellulaires du bois après quoi on injecte par surpression un maximum de produit de préservation dans ces cavités cellulaires du bois préalablement vidées, conférant ainsi au bois une durabilité bien au-delà de sa durabilité naturelle. Pour y parvenir, toute une préparation est mise en oeuvre :

Mise en charge des poteau-bois bruts Les poteaux bruts arrivent de Bafounda puis déchargés et stockés sur des aires préparées. Ils sont installés en fonction de leur longueur dans les chariots grâce aux engins lourds, la longueur et la classe des poteaux déterminent la quantité de poteaux à charger. Le conducteur de l'engin lourd assisté d'une moyenne de 07 ouvriers réalise cette tâche. A titre d'exemple, un chariot chargé uniquement de poteaux 11 G (poteaux de 11 m de classe G) peut contenir 25 poteaux, cette quantité remplissant le chariot et immobilisée par des chaînes est connue sous le nom de charge : charge pouvant rouler sur des rails et prête à être introduite par traction d'un engin lourd dans l'autoclave des usines 1 ou 2.

Évaluation du taux d'humidité Opération indispensable, mais pourtant très rarement effectuée, la mesure du taux d'humidité se fait en principe sur un échantillon d'au moins 10% des poteaux bruts choisi aléatoirement dans la charge. Les prises d'humidités sont effectuées à 1m de la base et à 1m du sommet. L'humidimètre, constitué des électrodes introduites grâce à son marteau dans l'aubier du poteau,

donne la teneur en eau de chaque poteau de l'échantillon ; puis, par extrapolation le taux d'humidité moyen de la charge et déterminé.

Préparation de la solution de préservation

Le traitement se fait en circuit fermé, ce qui signifie sans déversement de la solution de préparation. La préparation de celui-ci consiste à ajuster la concentration de la solution et le volume indispensable à la réalisation d'un cycle de traitement.

Concrètement, la concentration du fond de solution ayant servie au traitement précédent est évaluée, le volume du fond de solution est lu sur le panneau de contrôle. Ces deux informations justifient un ajustement non de la solution de préservation devant servir au prochain traitement. Dans le cas d'ajustement, une masse déterminée de TanalithE3485 ou Celcure AC-450, produits de préservation en usage est mélangée avec une quantité d'eau dans le bac servant à cette fin. Après homogénéisation par un rotor alimenté en électricité, la solution obtenue est transportée par une pompe électromécanique dans le bac de stockage et prête à servir pour le traitement. Après ces activités préalables, les charges se déplaçant sur des voies ferrées sont entraînées dans les autoclaves suivant les caractéristiques des autoclaves, la longueur des poteaux, leur classe et la quantité de poteaux par charge, les usines peuvent prendre une charge ou deux. L'usine 1 ne peut prendre qu'une seule charge à la fois alors que l'usine 2 en prend deux. En effet, l'usine 1 dispose d'un autoclave de 15,3m de long.

Traitement proprement dit Une fois la charge introduite dans l'autoclave et la porte verrouillée, le cycle de traitement se fait de 4 étapes et durant en moyenne 3 h 15 mn. **Le vide initial** : première étape de traitement a pour but d'extraire les fluides vitaux présents dans des cellules du bois. Une pompe à vide crée progressivement une dépression dans l'enceinte de l'autoclave la portant à -0,7 bar. Cette

pression doit être maintenue pendant 1h environ mais sur le terrain, les opérateurs machines affirment qu'après 30 mn, le résultat recherché est atteint et on peut passer à la deuxième étape. Le remplissage de l'autoclave se fait une fois le vide initial terminé : la pompe à vide étant toujours en fonctionnement, on fait passer pendant 15 mn environ le liquide de préservation du réservoir de stockage à l'autoclave par l'intermédiaire de la gravité (usine 1) de la pompe d'échange (usine 2).

A l'usine 2 par exemple, lors d'un traitement simultané de deux charges constituées de 36 poteaux 11 C et 30 de 9G, on a pu observer par lecture sur le panneau de contrôle que le volume de solution dans le réservoir de stockage est passé de 47300 L à 9300 L, ce qui revient à dire qu'à ce niveau, les poteaux sont complètement noyés dans 37800 L de solution. Il faut dès lors amener la solution à pénétrer dans les poteaux d'où la troisième étape.



FIGURE 2.3 – Schéma d'une autoclave de traitement de l'UTPB de Bamougoum

La mise sous pression : elle a pour but d'introduire le produit de préservation profondément dans les cavités du bois initialement vidées, c'est la principale action recherchée. L'autoclave étant déjà plein, on y introduit un supplément de solution par l'entremise d'une pompe à pression qui collecte la solution dans le bac de stockage et l'introduit dans l'autoclave en créant une suppression d'environ +12,18 bar pendant 1 h. À la suite de cette opération, et dans la continuité de l'exemple cité ci-dessus, le panneau de contrôle laisse voir le volume de la solution dans le bac de stockage chute encore de 9500 L à 7000 L, nous invitant à conclure aisément

qu'environne 2500 L de solution ont été introduites dans les 66 poteaux contenus dans l'autoclave au réservoir de stockage, on ouvre la vanne de décharge de pression de sortie que l'autoclave rééquilibre sa pression à celle du milieu ambiant (pression atmosphérique).

Le vide final Dernière étape de traitement consiste à créer pendant 20 mn une nouvelle pression de -0,7 bar en vue d'assécher la surface des poteaux pour éviter leur tintement à la sortie de l'autoclave, ce qui a pour conséquence de collecter une quantité de solution dans l'autoclave et donc de nécessiter une vidange finale de 15 mn et un rééquilibre à un 1 bar de la pression dans l'autoclave avant l'ouverture de la porte.

Déchargement des poteaux traités Après cette étape en autoclave, les charges y sont extraites et remorquées par des pelles chargeuses vers un point de déchargement de la plateforme du site où les poteaux sont provisoirement stockés. Il faut un minimum de 48 h pour que les biocides de la solution se fixent complètement dans les cellules du poteau. Le produit fini traité est ainsi prêt à servir dans les réseaux d'électrification. Chaque cycle de traitement est sanctionné par un procès-verbal de traitement qui doit être dressé par le chef de quart et soumis à l'appréciation du chef des usines. Ce procès-verbal permet non seulement de faire l'analyse du traitement venant de se réaliser à partir des données qui y sont consignées, mais aussi de procéder au suivi des quantités des intrants nécessaires au traitement et des extrants qui en découlent(voir ANNEXE 5). Description

Ce sont des arbres qui atteignent une hauteur de 30 à 40 m et un diamètre de 40 à 70 cm.



FIGURE 2.4 – Le dépôt de bois d'eucalyptus saligna

INÉDIT

TABLE 2.4 – Informations professionnelles de l'eucalyptus
(AES-Sonel,1982)

Durabilité aux champignons	Moyennement durable
Classe d'emploi	2
dureté	9,8
Densité moyenne à 12% d'humidité	(550-650) kg/m ³
Retrait tangentiel total	4%
Retrait radial total	2 %
Masse volumique état vert	(700-800) Kg/m ³
Module d'élasticité à 12 % d'humidité (MPa)	14 200
Module d'élasticité	(9800-16700) N/mm ²
Compression axiale	(40-82) N/mm ²
Cisaillement	(7-16) N/mm ²
Fendage	(18-32) N/mm

2.2.2 CV des poteaux électriques en eucalyptus

Nous présentons ici le cycle de vie de sciage de cette essence dans la région de l'Ouest Cameroun dont l'utilisation est à Yaoundé.

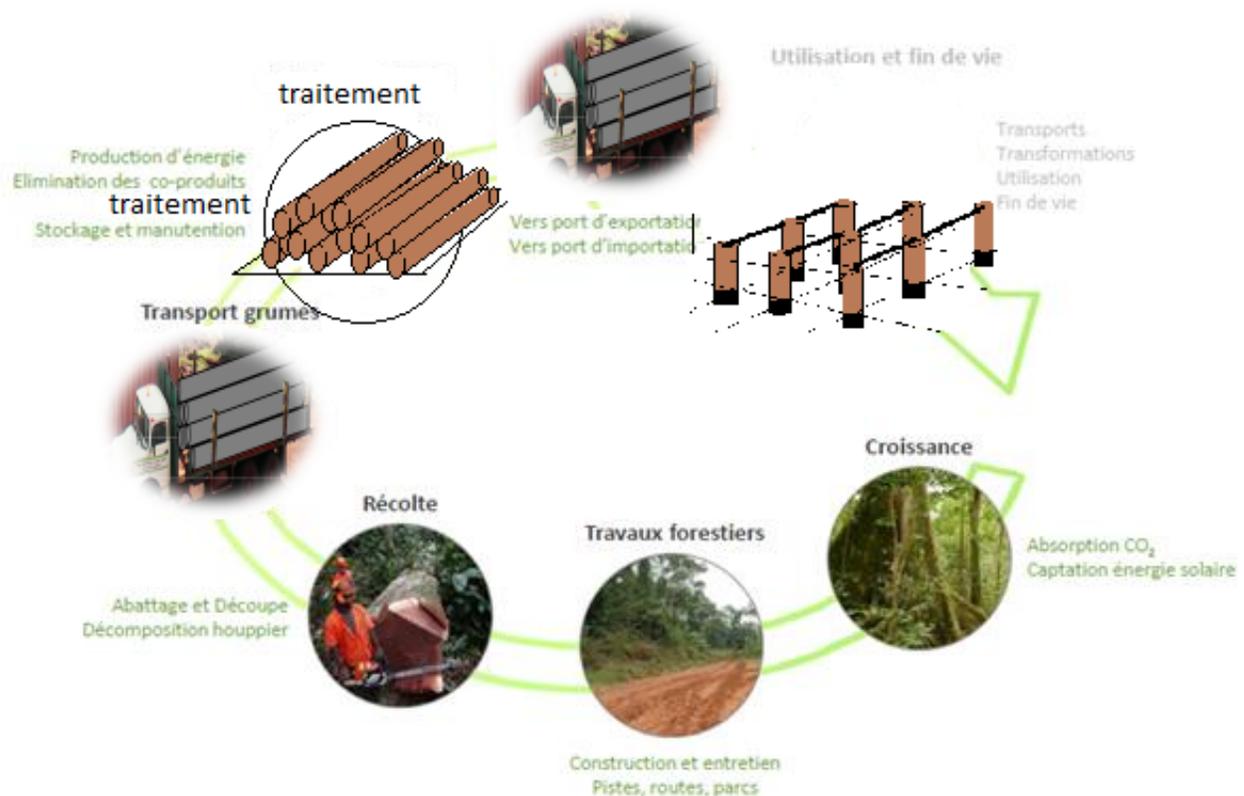
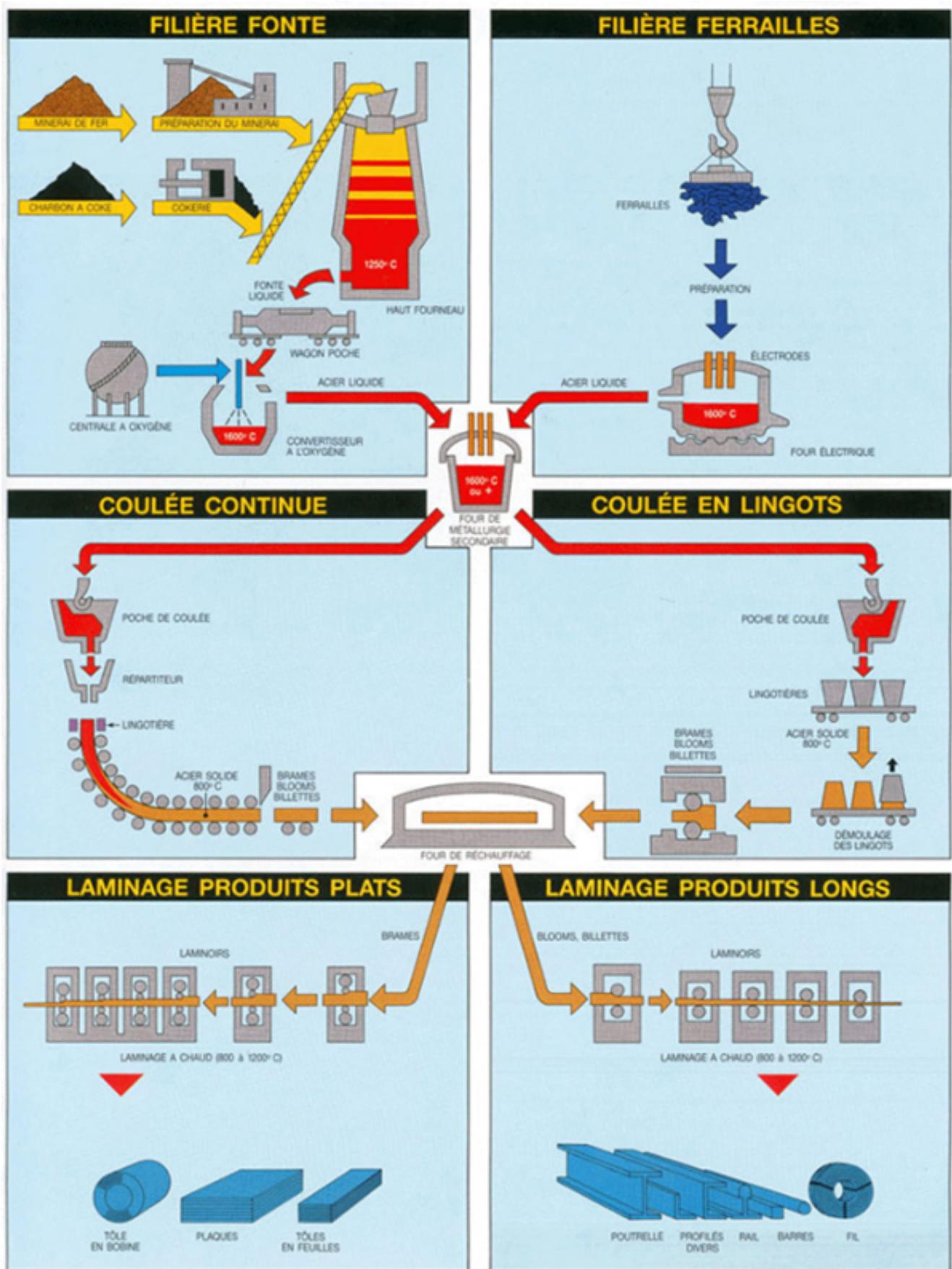


FIGURE 2.5 – cycle de vie du sciage des poteaux électriques en eucalyptus à Bamoungoum

2.3 CV des poteaux électriques en acier

Nous avons vu les grands axes de production de l'acier dans le chapitre I, cette partie nous facilitera la compréhension sur les co-produits et produits consommés et émis lors de la fabrication de l'acier à partir des minerais de fer ainsi que les énergies mises en oeuvre.



2.3.1 Production primaire

La production primaire (voir figure 2.7) nécessite une grande quantité d'énergie et génère d'énormes quantités de polluants dangereux pour l'environnement tels que le dioxyde de carbone, le dioxyde de soufre dans l'eau, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), du fluor et des poussières. (Davis Langdon, 2010)

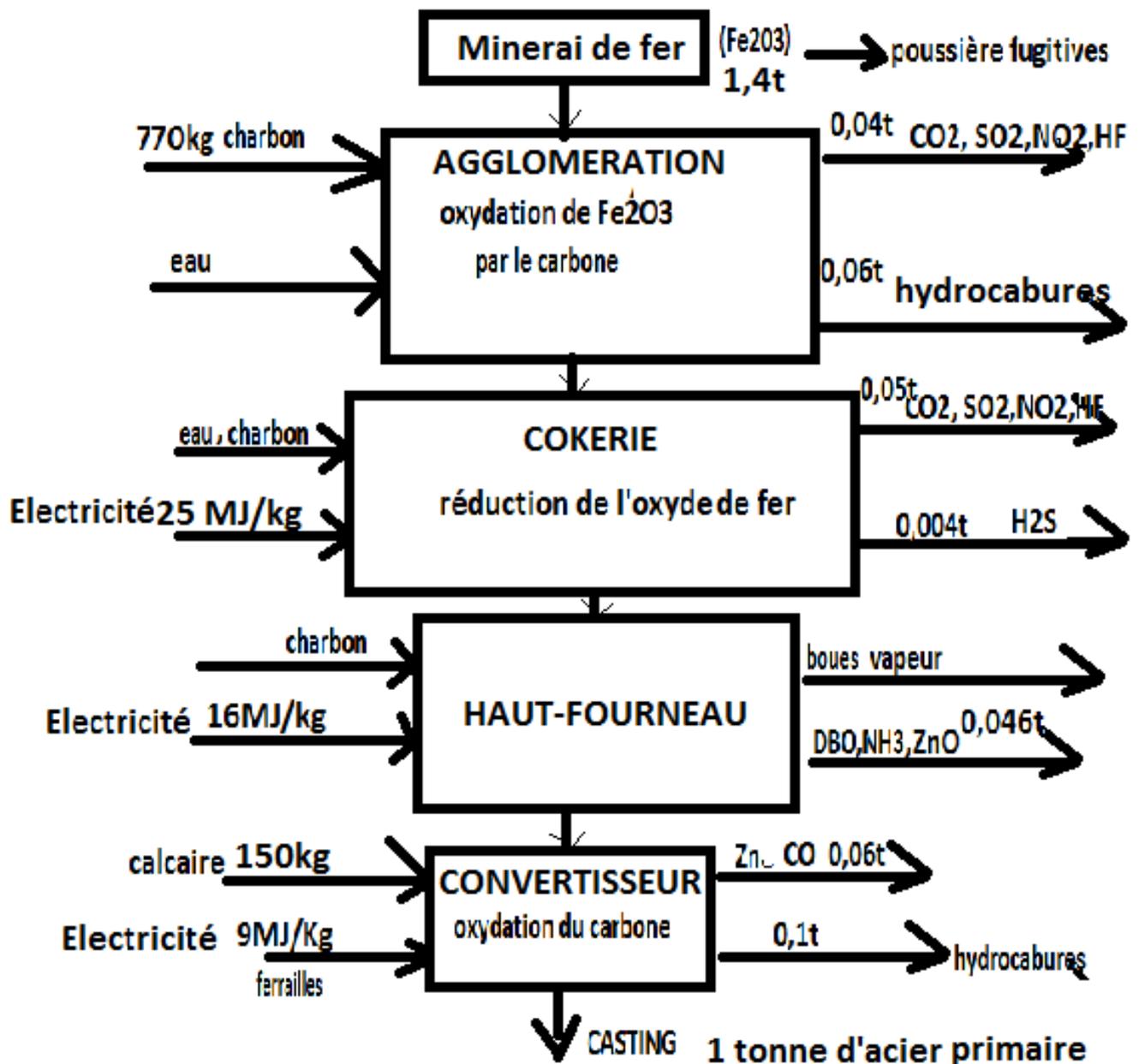


FIGURE 2.7 – production primaire d'une tonne l'acier à partir de minerai de fer

2.3.2 Production secondaire

La production secondaire de l'acier a deux étapes : la coulée continue et le laminage.

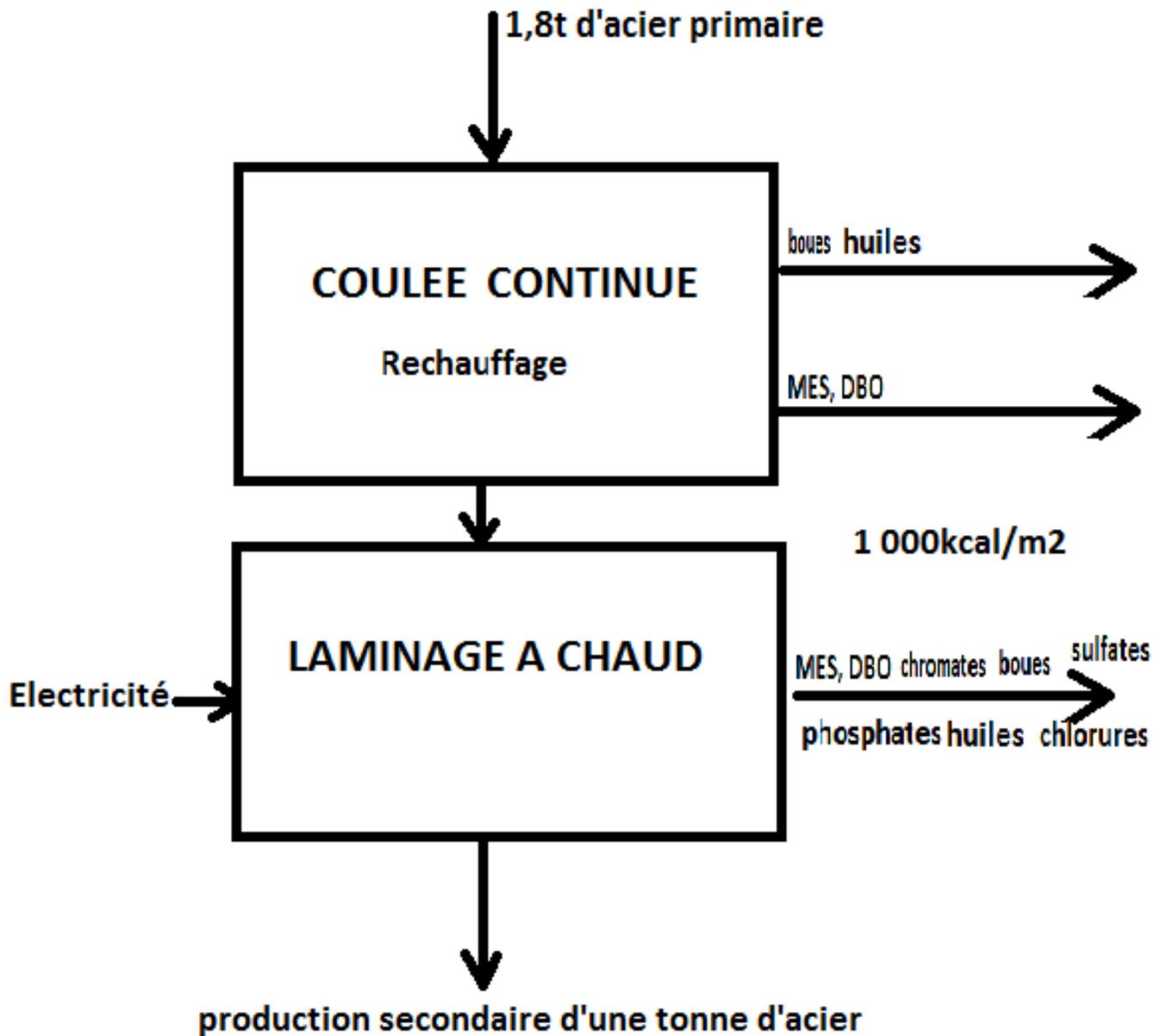


FIGURE 2.8 – production secondaire d'une tonne d'acier

2.4 Récapitulatif des deux cycles de vie

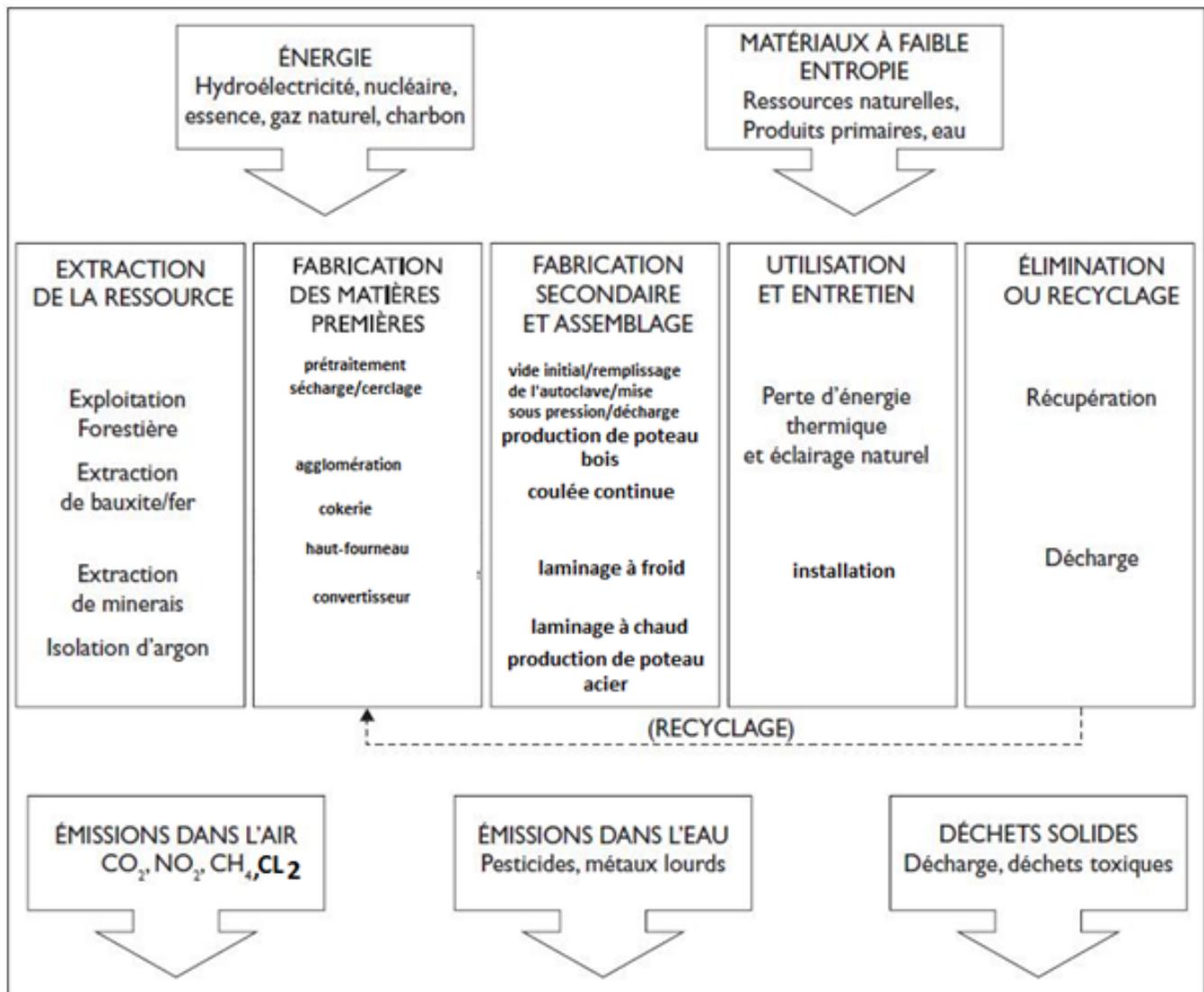


FIGURE 2.9 – Récapitulatif des deux cycles de vie

2.5 Impacts environnementaux dus aux poteaux électriques en eucalyptus et en acier

L'étude des différents cycles de vie nous présente plusieurs impacts environnementaux.

1. L'énergie primaire non renouvelable : obtenue à partir des ressources fossiles (charbon, gaz naturel, pétrole) et minerais ;

2. gaz à effet de serre : (CO₂, CH₄, la vapeur d'eau, l'oxyde nitreux, l'ozone et les halocarbuures) qui emprisonnent la chaleur du soleil, mesurés en kilogramme de dioxyde de carbone ;

3. Appauvrissement de la couche d'ozone : catalyseur de radicaux libres (l'hydroxyle, le chlorure atomique, le brome atomique) qui ont des impacts sur la couche d'ozone ;

4. Acidification : (SO₂, les oxydes d'azote) produits lors de la combustion des fossiles combustibles, qui contribuent aux dépôts acides (pluies acides) ;

5. Métaux lourds : métaux ayant une masse atomique relativement élevée (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. Cancérigènes : substances ou radiations directement responsables de la croissance du cancer, mesuré en gramme de benzopyrène ;

7. Eutrophisation : 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 des plantes et à une putréfaction, à une réduction en oxygène et une grave réduction de la quantité de l'eau et des populations de poissons et d'animaux, mesurée en gramme de phosphate ;

2.6 Énergie grise

L'énergie grise se définit comme la somme totale de l'énergie nécessaire à assurer l'élaboration du produit, ainsi que les transports successifs qu'aura nécessité la mise en oeuvre. Sont également incluses les dépenses énergétiques des matériels et engins ayant contribué à son élaboration. L'unité physique utilisée pour chiffrer est ordinairement le joule ou en ses sous-multiples. En théorie, un bilan d'énergie grise additionne l'énergie dépensée lors de :

- La conception du produit de service ;
- L'extraction et du transport des matières premières ;
- La transformation des matières premières et de la fabrication du produit ou lors de la préparation du service ;
- La commercialisation du produit ou service ;
- L'usage ou de la mise en oeuvre ou lors de la fourniture du service ;
- L'entretien, la réparation du produit dans son cycle de vie et du recyclage.

2.7 Méthodologie de modélisation

2.7.1 Définition des frontières, fonction et unité fonctionnelle

L'objectif de cette partie est de définir une approche juste pour comparer divers matériaux de poteaux électriques en eucalyptus et poteaux électriques en acier en fonction de leurs impacts sur l'environnement au cours de leur cycle de vie. Pour cela, nous avons besoin de 03 critères.

La fonction : Définir la fonction du produit dans la démarche d'ACV est capital. Dans notre cas, la fonction poteau qui est déjà ciblée ici a pour fonction de

servir comme support de lignes aériennes lors du transport de l'énergie électrique à Yaoundé.

L'unité fonctionnelle : elle permet de quantifier la fonction ainsi définie. Pour cette raison, elle se doit d'être clairement définie, mesurable et cohérente avec l'objectif et le champ d'étude. De façon pratique, l'unité fonctionnelle sert de référence à partir de laquelle (mathématiquement) seront normalisées les données d'entrée et de sortie. Spécifiquement, nous avons choisi comme unité fonctionnelle relative à la fonction ci-dessus proposée : un poteau électrique de 11 m hauteur, de diamètre au sommet $d=0,22$ m et de diamètre de base $D=0,30$ m pour une durée de vie de 25 ans.

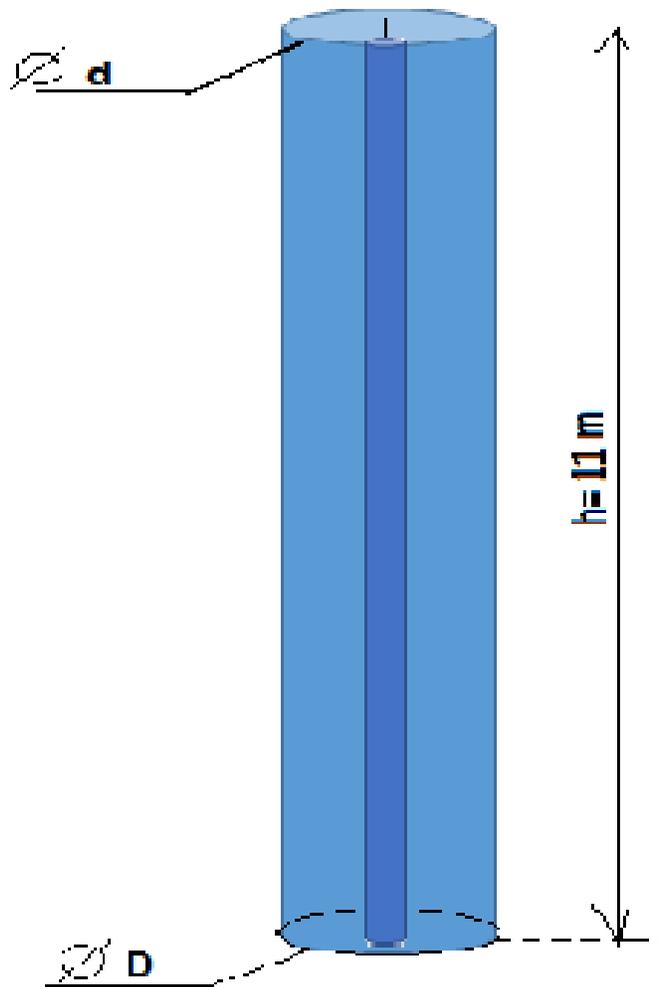


FIGURE 2.10 – Unité fonctionnelle

Définition du champ d'étude : la définition du champ d'étude ou de la frontière du système étudié n'est pas en général aisée. En général, le système étudié est constitué des opérations strictement nécessaires pour assurer là où les fonctions qui contiennent l'unité fonctionnelle, nous sommes partis de deux considérations pour circonscrire notre champ d'étude. Tout d'abord, nous avons assumé que le champ d'étude ne va pas au-delà des limites où la recherche d'information ne s'aventurera pas. Nous avons ensuite considéré que seules les phases de cycle de vie du poteau bois où ENEO-Cameroun a la pleine maîtrise constitueraient un bon référentiel.

Nous avons ensuite choisi l'étape la plus en amont et celle la plus en aval du cycle pour en faire la frontière. Ainsi, les phases suivantes ont été prises en compte pour les poteaux bois : pré-traitement des poteaux pour obtenir les poteaux bruts, traitement des poteaux conduisant au produit fini, transport des poteaux, vie en réseau des poteaux et fin de vie.

2.7.2 Analyse de l'inventaire

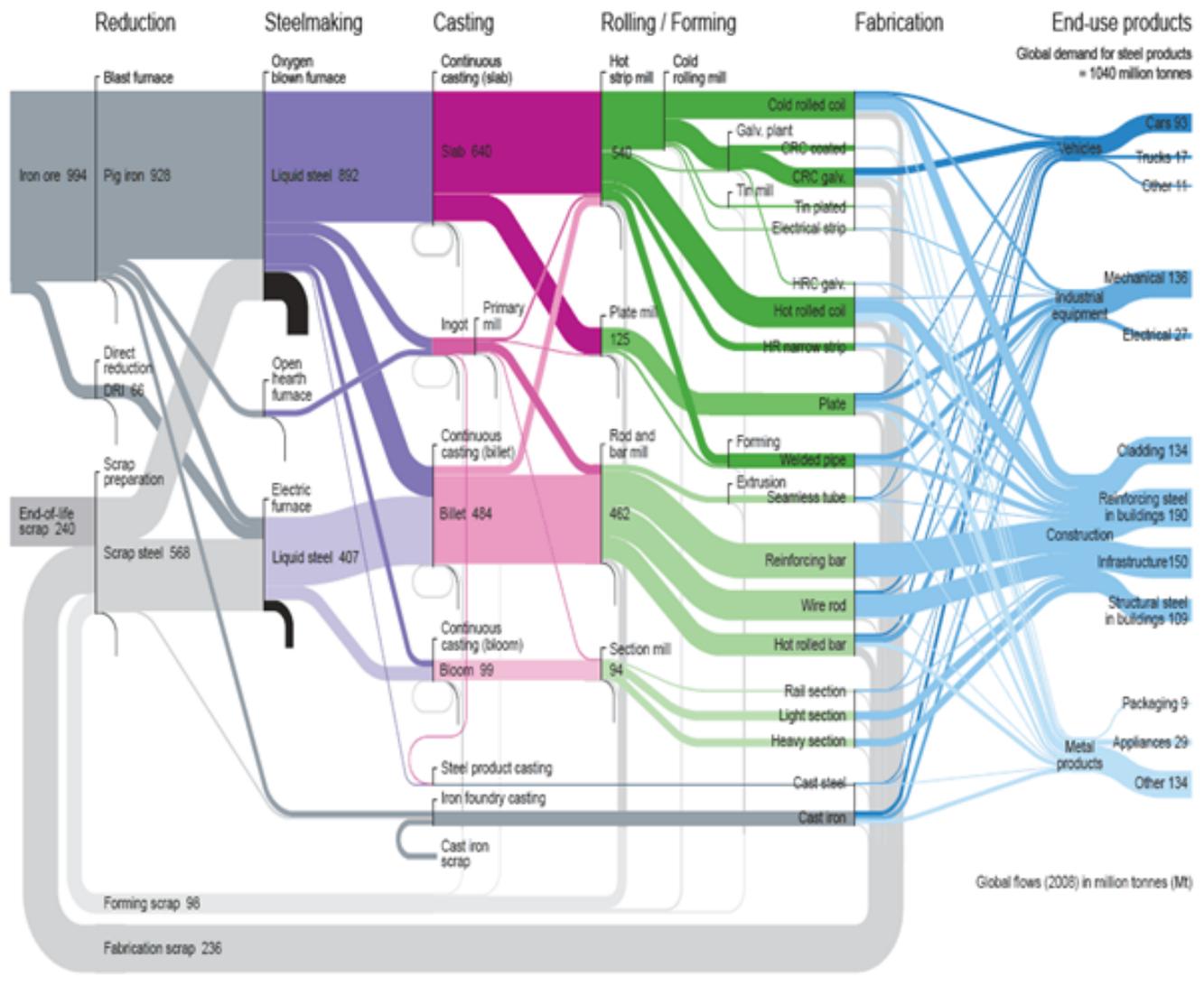


FIGURE 2.11 – Analyse de l'inventaire de cycle de vie de poteaux en acier (PNUE,1986)

2.7.3 Hypothèse de modélisation

La fonction des poteaux électriques est celle de servir comme support de ligne électrique, l'unité fonctionnelle doit définir les caractéristiques, leur Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires (FDES).

-Poteau électrique en eucalyptus :

-Matériau : eucalyptus de type G issu de la coupe dans la forêt de Bana (Ouest Cameroun) de dimensions suivantes : Hauteur $h= 11$ m, Diamètre au sommet $d=0,22$ m, Diamètre de base $D=0,30$ m, Soit un volume $V= 0,59$ m³ pour l'unité fonctionnelle de masse environ 383,5 kg.

Durée de vie typique (DVT) : 25 ans

Transformation : -Énergie= 29,8 KWh soit la consommation électrique.

Transport : De la forêt communale de Bana à Bafounda= 4 Km, De Bafounda à l'UTPB= 3 Km, De l'UTPB à Yaoundé= 286 Km

Traitement : 0,069 m³

-Poteau électrique en Acier

Matériau : Acier allié Nickel Chrome de 11 m de hauteur soit un volume $V= 0,5$ m³ et une masse de 600 kg. DVT= 30 ans

Transformation : Énergie primaire= 110 MJ/UF soit 3300 MJ pour toute la DVT (voir annexe)

Transport : Du port de Shanghai au port de Douala= 11865 nautical miles soit 21973,98 Km D'après les Données cartographiques d'INEGI Imagerie 2016 de la NASA sur GOOGLE MAPS. Du port de Douala à Yaoundé= 258 Km

Traitement : aucun

2.7.4 Outils de modélisation :Le logiciel BILAN PRODUIT

BILAN PRODUIT est un classeur Excel permettant d'estimer les impacts environnementaux des produits. 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.

Méthodologie de BILAN PRODUIT

Dans une ACV, la méthode d'analyse des impacts environnementaux du système étudié se décompose généralement en deux étapes. La méthode de classification détermine quels flux issus de l'Inventaire du Cycle de Vie (ICV) contribuent à quels effets environnementaux tandis que la méthode de caractérisation pondère ces mêmes flux à l'intérieur de chacune des classes d'effet. 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.

Toujours dans un souci pédagogique vis-à-vis des PMI / PME, les efforts de quantification destinés à éclairer les choix d'Eco-conception sont ici autant orientés « Ressources » que « Impacts » afin de laisser une place importante aux aspects liés aux matières premières sans pondérer ni regrouper les matériaux. En effet, une évolution récente des ACV privilégie les indicateurs « Impacts » car de nombreuses recherches amènent désormais des améliorations notables au niveau de la caractérisation des impacts potentiels (mid-points) afin de mieux les caractériser en

tant qu'impacts réels (damage ou end-points). Malgré tout, la méthodologie BILAN PRODUIT conserve de nombreux indicateurs de consommation de ressources car la notion d'épuisement des ressources reste encore, dans de nombreux cas de PMI / PME, une notion très concrète voire nécessaire à assimiler préalablement à l'élaboration de toute démarche basée sur des impacts potentiels des produits. Il en résulte des méthodes de calcul spécifiques pour certains indicateurs de la méthodologie.

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.

Liste des indicateurs « ressources » :

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.

Consommation de ressources rare : 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 ressources) établi par la méthode reconnue de l'Université de Leiden (CML 2 baseline 2000 V2.1). 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.

Liste des indicateurs « d'impact »

Effet de serre En kilogrammes d'équivalent dioxyde de carbone kg de CO₂ éq. Cet indicateur exprime le potentiel d'effet de serre additionnel qu'engendre le produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. Le calcul repose sur le modèle de caractérisation développé par l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) et repris dans la méthode CML 2 baseline 2000 V2.1. Ce modèle caractérise les émissions dans l'air susceptibles de participer directement au potentiel de réchauffement climatique global (Global Warming Potential) à l'horizon 100 ans (GWP 100a). L'effet de serre additionnel est impliqué dans les problématiques de changement climatique d'origine anthropique qui commence à affecter la planète. On peut citer l'élévation du niveau moyen des océans, la hausse des températures moyennes.

Acidification En kilogramme d'équivalent dioxyde de soufre kg de SO₂ éq. Cet indicateur exprime le potentiel d'acidification qu'engendre le produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. Le calcul repose sur la méthode CML 2 baseline 2000 V2.1. L'acidification recouvre le problème des « pluies acides » qui modifient à la baisse la productivité des écosystèmes naturels (forêts) ou artificiels (cultures). Les infrastructures humaines (bâtiments, véhicules) sont aussi affaiblies.

Eutrophisation En kilogramme d'équivalent phosphate kg de PO₄³⁻ éq. Cet indicateur exprime le potentiel d'enrichissement des eaux en nutriments qu'engendre le produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. Le calcul repose sur la procédure stoechiométrique d'Heijungs (1992) reprise dans la méthode CML 2 baseline 2000 V2.1. L'excès de nutriments provoque une diminution de la diversité biologique des zones humiques, une baisse de la qualité de l'eau et un envasement des lacs.

Ozone troposphérique En kilogrammes d'équivalent acétylène kg de C₂H₂ éq. Cet indicateur exprime le potentiel de formation d'ozone troposphérique qu'engendre le produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. Le calcul repose sur le modèle développé par l'United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) et repris dans la méthode CML 2 baseline 2000 V2.1. Ce modèle caractérise le potentiel de différentes substances émises dans l'air à former de l'ozone troposphérique (Photochemical Ozone Creation Potential). La production d'ozone troposphérique (= au niveau du sol) engendre des problèmes sur la santé humaine notamment des difficultés respiratoires.

Ecotoxicité aquatique En kilogrammes d'équivalent 1,4 dichlorobenzène - kg de 1,4 DCB éq. Cet indicateur exprime le potentiel d'écotoxicité dans l'eau douce que génère le produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. Le calcul correspond à la méthode CML 2 baseline 2000 V2.1. Dans cette dernière, les facteurs de caractérisation (Fresh-water Aquatic Eco-toxicity Potential) sont calculés par la méthode USES-LCA qui décrit le destin, l'exposition et les effets de substances toxiques sur les écosystèmes aquatiques (non marins). L'horizon de temps choisi est de 100 ans pour ne pas considérer les migrations des métaux lourds au travers des couches techniques des centres de stockage (qui ne résisteraient pas sur plusieurs centaines de millénaires)

Toxicité humaine En kilogrammes d'équivalent 1,4 dichlorobenzène - kg de 1,4 DCB éq. Cet indicateur exprime le potentiel de toxicité humaine que génère le produit considéré sur l'ensemble de son cycle de vie. Le calcul correspond à la méthode CML 2 baseline 2000 V2.1 où les facteurs de caractérisation (Human Toxicity Potential) sont calculés par la méthode USES-LCA qui décrit le destin, l'exposition et les effets de substances toxiques sur l'homme pour un horizon de temps de 100 ans.

RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Résultats

Les résultats issus des calculs d'impacts du logiciel BILAN PRODUIT sont présentés par des graphes suivants :

3.1.1 Résultats pour les poteaux électriques en eucalyptus

TABLE 3.1 – Impacts par phase de vie des PEE

Indicateurs	Phase de Production	Phase de Transports	Phase Utilisation	Fin de vie	Total
Consommation énergie NR (MJ eq)	8,29E+02	2,46E+03	1,12E+04	0,00E+00	1,45E+04
Consommation ressources (kg Sb eq)	3,20E-01	9,89E-01	4,80E+00	0,00E+00	6,11E+00
Effet de serre GWP 100 mod (kg CO2 eq)	4,43E+01	1,37E+02	6,69E+02	0,00E+00	8,50E+02
Acidification (kg SO2 eq)	2,39E-01	7,12E-01	2,48E+00	0,00E+00	3,44E+00
Eutrophisation (air eau sol) (kg PO4--- eq)	1,19E-01	3,00E-01	1,49E+00	0,00E+00	1,91E+00
Pollution photochimique (kg C2H4)	1,71E-02	5,05E-02	1,83E-01	0,00E+00	2,31E-01
Ecotoxicité aquatique (kg 1,4-DB eq)	1,82E+01	4,17E+01	4,36E+02	0,00E+00	4,98E+02
Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq)	2,96E+01	7,85E+01	8,44E+02	0,00E+00	9,53E+02

TABLE 3.2 – Impact par sous-ensemble-Phase de production des PEE

Indicateurs	Planche essence commune dure (PRODUCTION)	Traitement du bois (PRODUCTION)	Electricité haute tension Europe (PRODUCTION mise sous pression)	Camion moyen (16 à 32T) Euro4 (PRODUCTION pelle porteuse)
Consommation énergie NR (MJ eq)	6,02E+02	5,21E+01	1,39E+02	1,90E-04
Consommation ressources (kg Sb eq)	2,36E-01	1,97E-02	5,09E-02	8,17E-08
Effet de serre GWP 100 mod (kg CO2 eq)	3,29E+01	2,75E+00	6,86E+00	1,15E-05
Acidification (kg SO2 eq)	1,86E-01	1,44E-02	3,06E-02	4,41E-08
Eutrophisation (air eau sol) (kg PO4--- eq)	8,57E-02	8,48E-03	1,98E-02	1,17E-08
Pollution photochimique (kg C2H4)	1,50E-02	6,07E-04	1,22E-03	1,40E-09
Ecotoxicité aquatique (kg 1,4-DB eq)	1,25E+01	1,60E+00	3,22E+00	1,00E-06
Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq)	2,25E+01	3,06E+00	3,21E+00	2,75E-06

TABLE 3.3 – Impact par sous-ensemble-Phase de production des PEE

indicateurs	Électricité haute tension Eu(vide final)	Électricité haute tension Eu(vide initial)
1	1,82E+01	1,82E+01
2	6,68E-03	6,68E-03
3	9,01E-01	9,01E-01
4	4,02E-03	4,02E-03
5	2,60E-03	2,60E-03
6	1,60E-04	1,60E-04
7	4,23E-01	4,23E-01
8	4,22E-01	4,22E-01

1-Consommation énergie Non Renouvelable(MJ eq), 2-consommation ressources(Kg Sb eq), 3-effet de serre GWP100 mod (KgCO₂eq), 4-Acidification (KgSO₂eq), 5-Eutrophisation (air eau sol)(KgPO₄ eq), 6-pollution photochimique(Kg C₂H₄), 7-Ecotoxicité aquatique(Kg1,4-DBeq), 8-Toxicité humaine (Kg 1,4-DBeq).

TABLE 3.4 – Impact par sous ensemble- phase de transport des PEE

Indicateurs	Gros camion (>32 T) Euro4	Gros camion (>32 T) Euro4	Gros camion (>32 T) Euro4
	(TRANSPORT Bafounda-UTPB)	(TRANSPORT forêt-Bafounda)	(TRANSPORT UT PB-Yaoundé)
1	8,51E+00	6,38E+00	6,08E+02
2	3,69E-03	2,77E-03	2,64E-01
3	4,97E-01	3,73E-01	3,56E+01
4	1,97E-03	1,48E-03	1,41E-01
5	5,32E-04	3,99E-04	3,81E-02
6	6,57E-05	4,93E-05	4,70E-03
7	4,96E-02	3,72E-02	3,55E+00
8	1,33E-01	1,00E-01	9,53E+00

TABLE 3.5 – Impact par sous ensemble-Phase d'utilisation des PEE

Indicateurs	Fabrication moyenne en acier (UTILISATION)
1	1,06E+04
2	4,56E+00
3	6,36E+02
4	2,30E+00
5	1,40E+00
6	1,48E-01
7	4,23E+02
8	8,22E+02

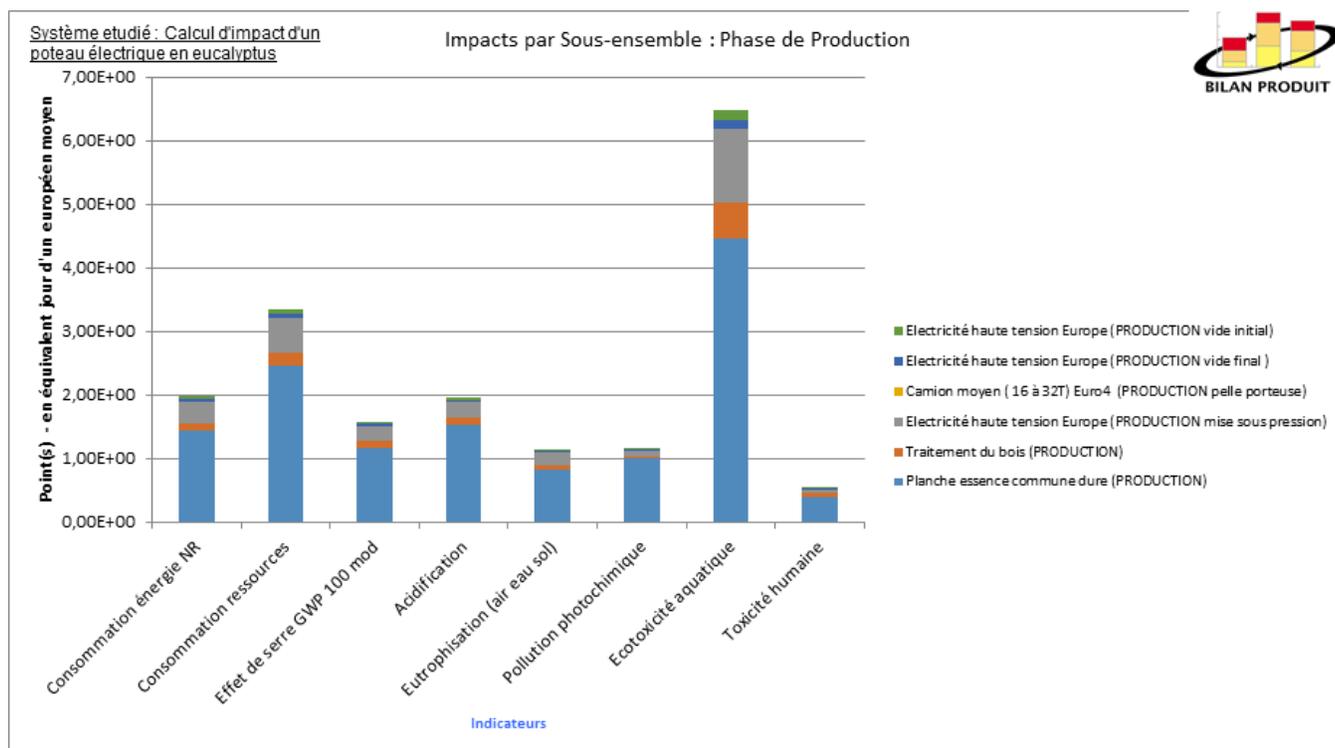


FIGURE 3.1 – Impact par sous ensemble-Phase de production des PEE

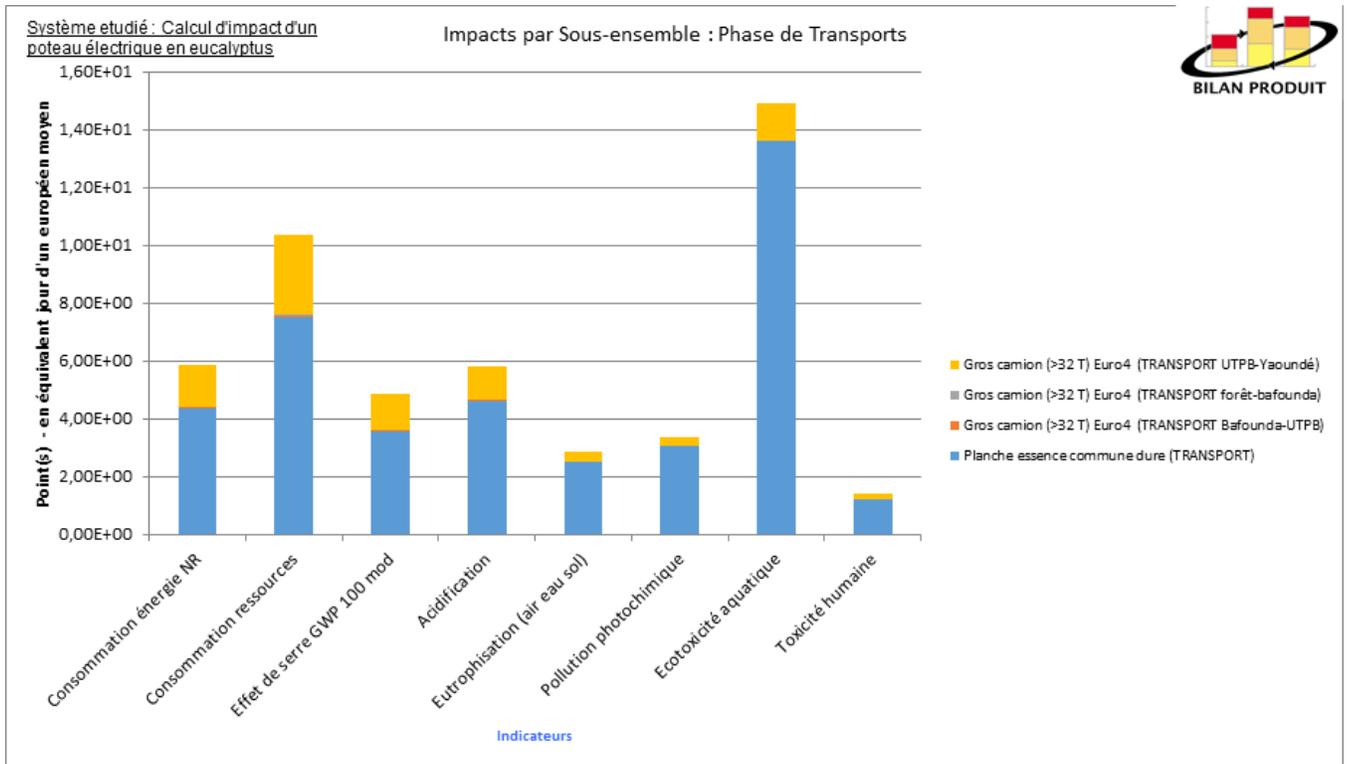


FIGURE 3.2 – Impact par sous ensemble-Phase de transport des PEE

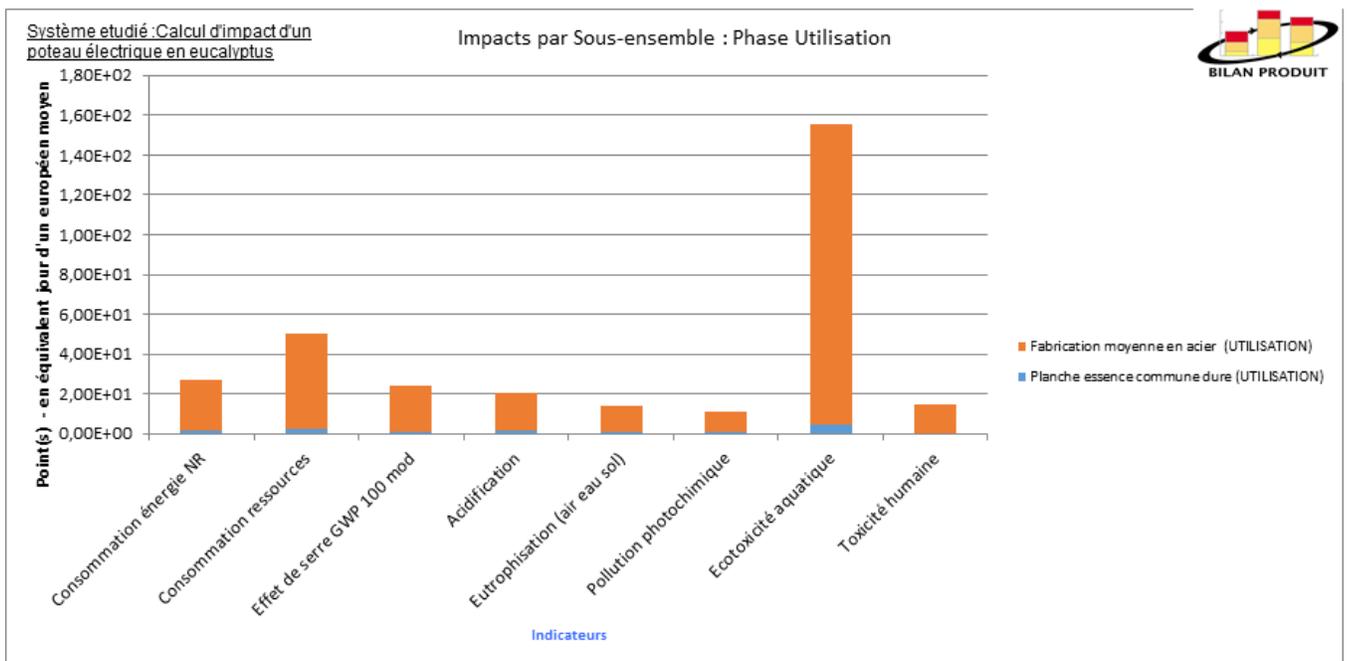


FIGURE 3.3 – Impact par sous ensemble-Phase d'utilisation des PEE

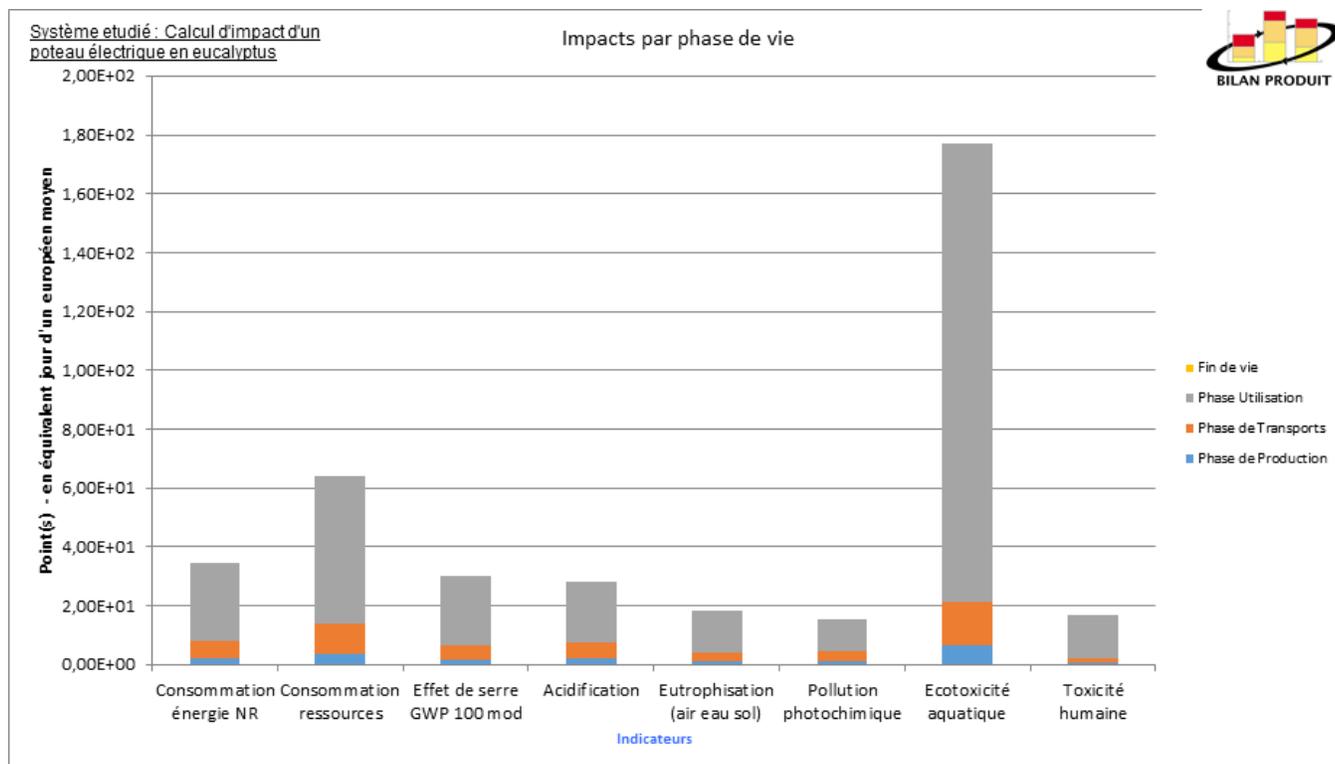


FIGURE 3.4 – Impact par phase de vie des poteaux électriques en eucalyptus

3.1.2 Résultats pour les poteaux électriques en acier

TABLE 3.6 – Impact par Phase de vie des PEA

Indicateurs	Phase de Production	Phase de Transports	Phase Utilisation	Fin de vie	Total
Consommation énergie NR (MJ eq)	2,45E+04	2,00E+04	2,00E+04	-7,15E+03	5,73E+04
Consommation ressources (kg Sb eq)	1,03E+01	8,62E+00	8,62E+00	-4,07E+00	2,34E+01
Effet de serre GWP 100 mod (kg CO2 eq)	1,81E+03	1,39E+03	1,39E+03	-4,73E+02	3,92E+03
Acidification (kg SO2 eq)	1,68E+02	1,67E+02	1,67E+02	-1,62E+00	5,01E+02
Eutrophisation (air eau sol) (kg PO4-- eq)	1,46E+01	1,38E+01	1,38E+01	-3,14E-01	4,18E+01
Pollution photochimique (kg C2H4)	6,66E+00	6,61E+00	6,61E+00	-2,73E-01	1,96E+01
Ecotoxicité aquatique (kg 1,4-DB eq)	6,30E+03	6,16E+03	6,16E+03	-2,11E+02	1,84E+04
Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq)	3,40E+04	3,38E+04	3,38E+04	-1,60E+02	1,01E+05

TABLE 3.7 – Impact par sous ensemble-phase de production des PEA

Indicateurs	Poêle à charbon (briquettes) 5à15 kW (charbon PRODUCTION)	Electricité haute tension France (convertisseur)	Electricité haute tension Europe (ELECTRICITE)	Chaudière industrielle 1 à 10 MW (HAUT-FOURNEAU)	Electricité haute tension Europe (HAUT-FOURNEAU)
1	5,88E+01	1,89E-01	4,49E-02	3,89E+00	2,87E-01
2	3,79E-02	1,00E-05	1,84E-05	2,58E-03	1,05E-04
3	6,09E+00	1,49E-03	2,22E-03	3,92E-01	1,42E-02
4	3,57E-02	8,45E-06	9,88E-06	2,88E-03	6,32E-05
5	6,35E-03	2,73E-06	6,41E-06	5,38E-04	4,10E-05
6	1,12E-02	3,20E-07	3,93E-07	1,30E-04	2,51E-06
7	1,24E+00	6,30E-04	1,04E-03	8,76E-02	6,68E-03
8	4,34E+00	1,98E-03	1,04E-03	1,59E-01	6,64E-03

TABLE 3.8 – Impact par sous ensemble-phase de production des PEA

Indicateurs	Laminage à chaud acier (LAMINAGE)	Usinage laser CO2 4KW (LAMINAGE)	Fabrication moyenne en acier (PRODUCTION)	Acier allié nickel chrome (PRODUCTION)
1	7,73E-01	4,37E+03	2,55E+01	2,00E+04
2	3,67E-04	1,81E+00	1,10E-02	8,62E+00
3	4,32E-02	2,18E+02	1,53E+00	1,39E+03
4	1,23E-04	1,07E+00	5,52E-03	1,67E+02
5	7,43E-05	7,70E-01	3,37E-03	1,38E+01
6	1,23E-05	4,32E-02	3,55E-04	6,61E+00
7	2,86E-02	1,37E+02	1,02E+00	6,16E+03
8	1,89E-02	1,98E+02	1,97E+00	3,38E+04

TABLE 3.9 – Impact par sous ensemble-Phase de transport des PEA

Indicateurs	Gros camion (>32 T) Euro4 (TRANSPORT DOUALA- YAOUNDE)	Acier allié nickel chrome (TRANSPORT)
Consommation énergie NR (MJ eq)	1,16E-01	2,00E+04
Consommation ressources (kg Sb eq)	5,04E-05	8,62E+00
Effet de serre GWP 100 mod (kg CO2 eq)	6,80E-03	1,39E+03
Acidification (kg SO2 eq)	2,69E-05	1,67E+02
Eutrophisation (air eau sol) (kg PO4-- eq)	7,27E-06	1,38E+01
Pollution photochimique (kg C2H4)	8,98E-07	6,61E+00
Ecotoxicité aquatique (kg 1,4-DB eq)	6,78E-04	6,16E+03
Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq)	1,82E-03	3,38E+04

TABLE 3.10 – Impact par sous ensemble-Phase d'utilisation des PEA

Indicateurs	Acier allié nickel chrome (UTILISATION)	Zingage par lot par micron d'épaisseur (UTILISATION)
Consommation énergie NR (MJ eq)	2,00E+04	1,50E+00
Consommation ressources (kg Sb eq)	8,62E+00	7,55E-04
Effet de serre GWP 100 mod (kg CO2 eq)	1,39E+03	1,04E-01
Acidification (kg SO2 eq)	1,67E+02	1,42E-03
Eutrophisation (air eau sol) (kg PO4-- eq)	1,38E+01	6,68E-04
Pollution photochimique (kg C2H4)	6,61E+00	5,13E-05
Ecotoxicité aquatique (kg 1,4-DB eq)	6,16E+03	1,43E-01
Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq)	3,38E+04	3,67E-01

TABLE 3.11 – Impact par sous ensemble-Fin de vie des PEA

Indicateurs	Acier allié nickel chrome (Phase de Production : PRODUCTION)	Acier allié nickel chrome (Phase de Transports : TRANSPORT)	Acier allié nickel chrome (Phase Utilisation : UTILISATION)
	Consommation énergie NR (MJ eq)	-2,38E+03	-2,38E+03
Consommation ressources (kg Sb eq)	-1,36E+00	-1,36E+00	-1,36E+00
Effet de serre GWP 100 mod (kg CO2 eq)	-1,58E+02	-1,58E+02	-1,58E+02
Acidification (kg SO2 eq)	-5,40E-01	-5,40E-01	-5,40E-01
Eutrophisation (air eau sol) (kg PO4-- eq)	-1,05E-01	-1,05E-01	-1,05E-01
Pollution photochimique (kg C2H4)	-9,11E-02	-9,11E-02	-9,11E-02
Ecotoxicité aquatique (kg 1,4-DB eq)	-7,02E+01	-7,02E+01	-7,02E+01
Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq)	-5,35E+01	-5,35E+01	-5,35E+01

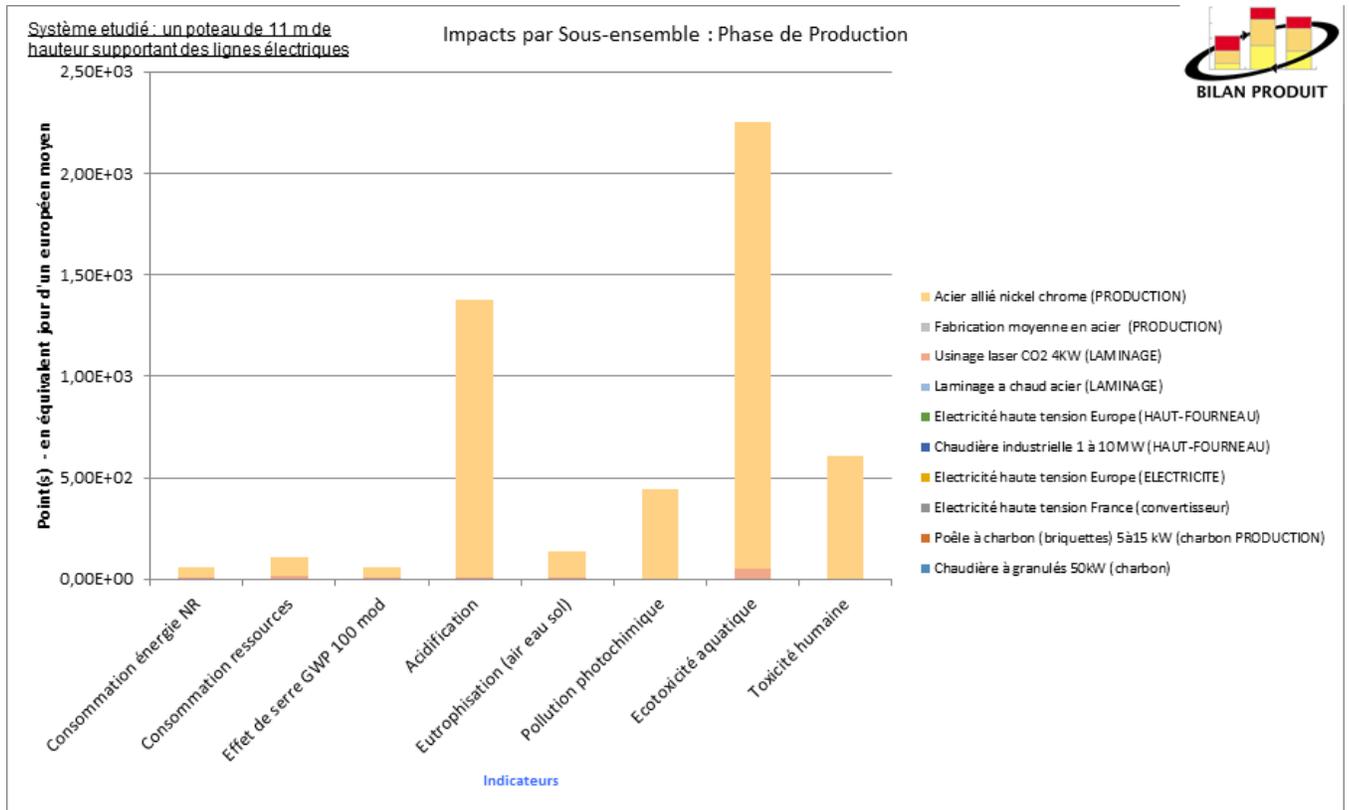


FIGURE 3.5 – Impact par sous ensemble-Phase de production des PEA

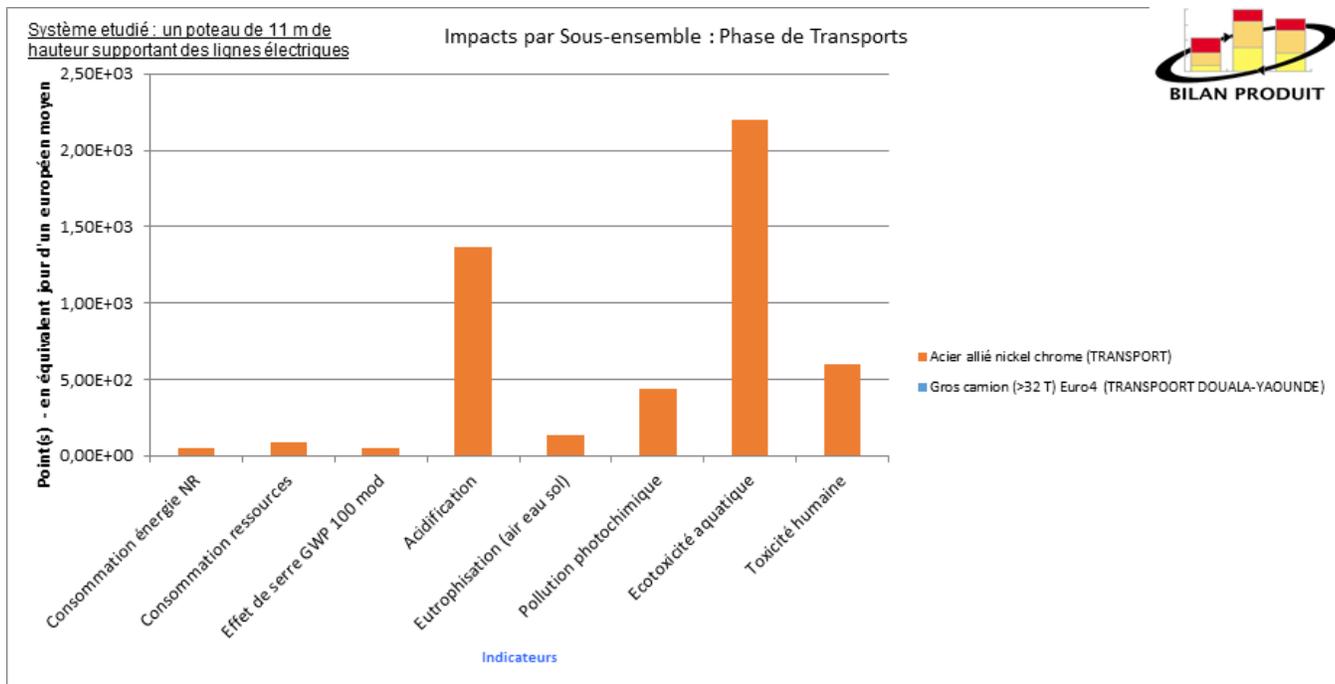


FIGURE 3.6 – Impact par sous ensemble-Phase de transport des PEA

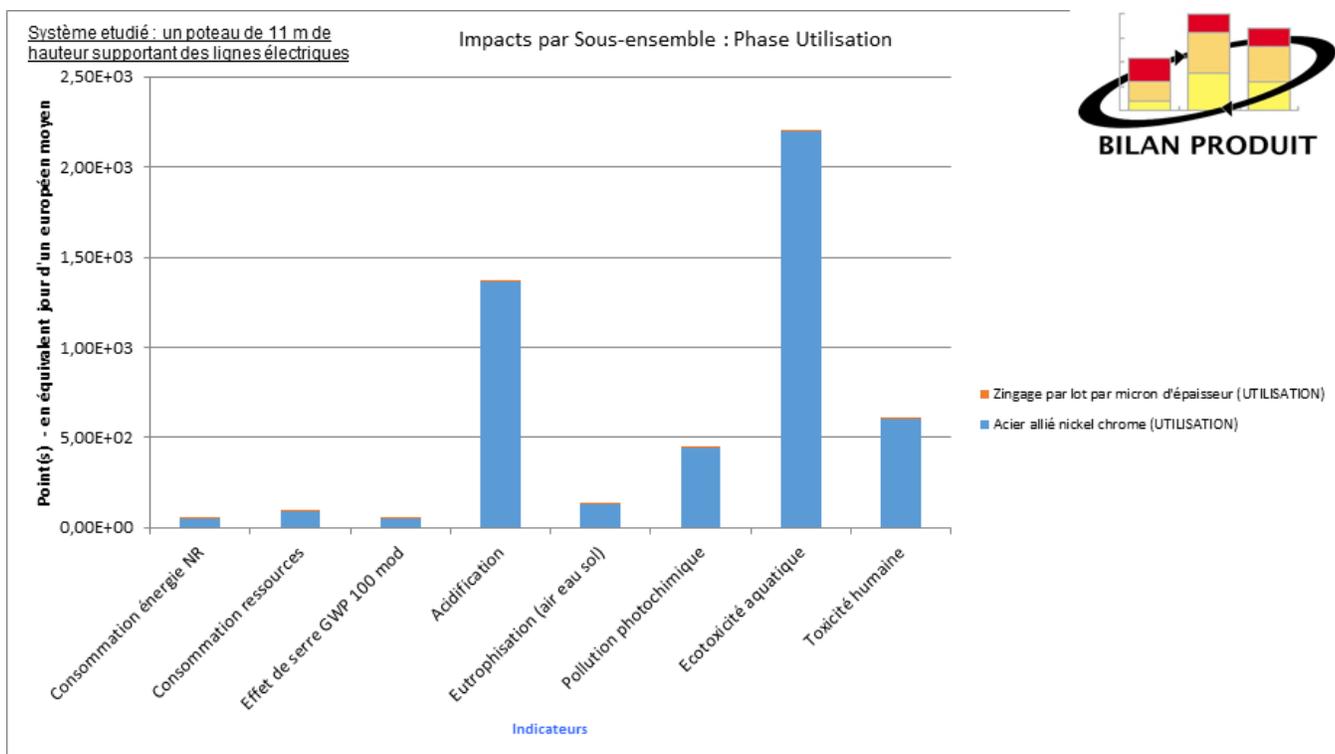


FIGURE 3.7 – Impact par sous ensemble-Phase d'utilisation des PEA

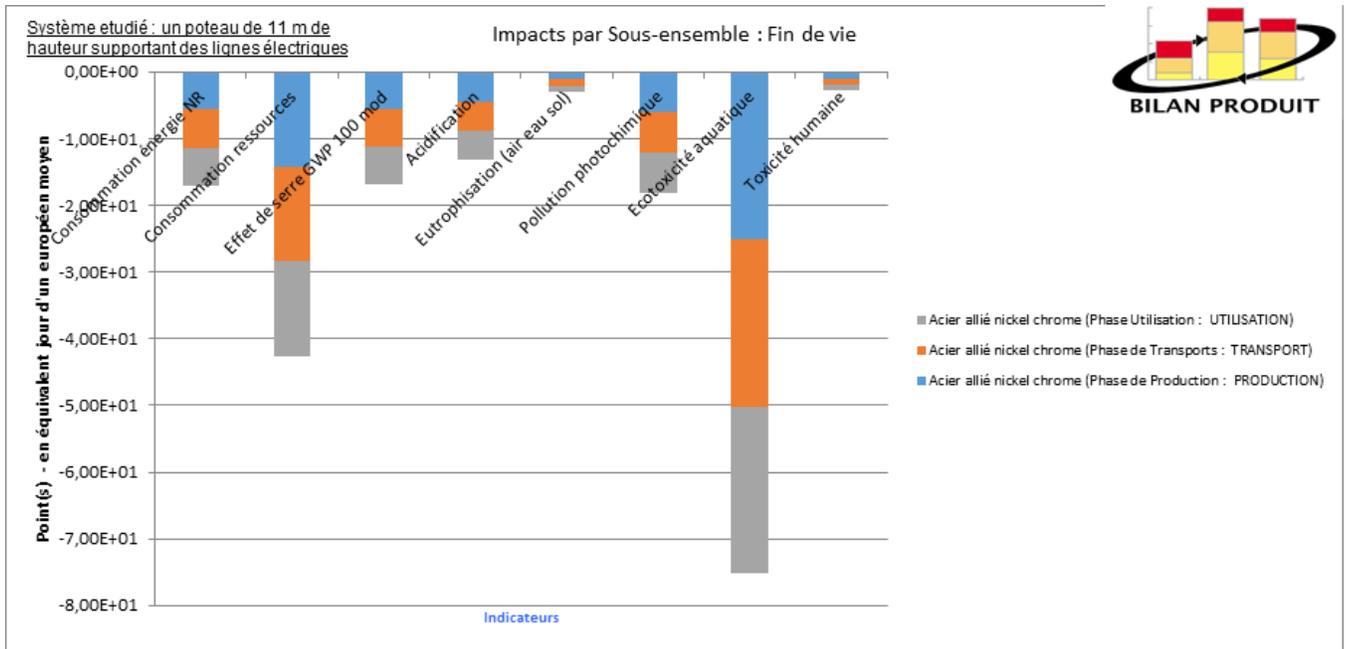


FIGURE 3.8 – Impact par sous ensemble-Fin de vie des PEA

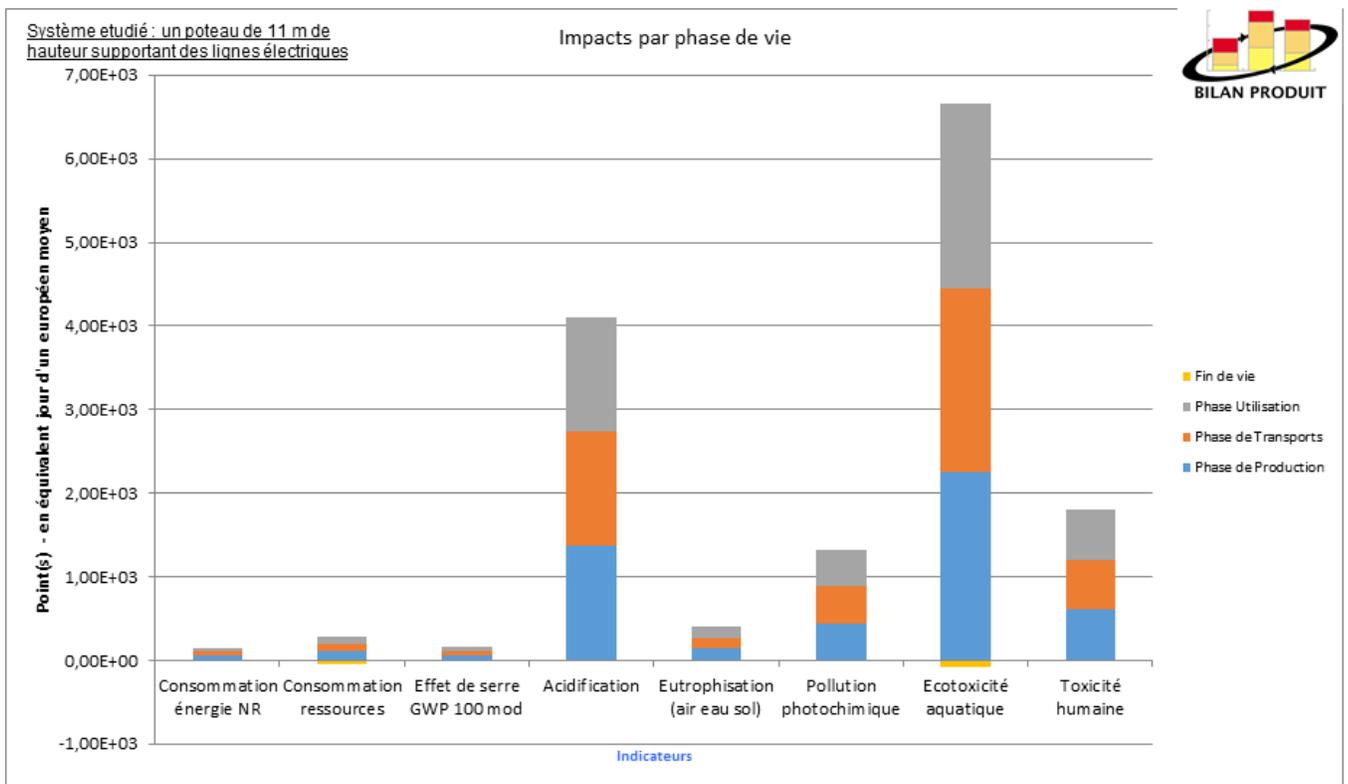


FIGURE 3.9 – Impact par phase de vie des poteaux électriques en Acier

La phase la plus importante correspond à la phase d'utilisation dans les deux cas suivie par la phase de transport et enfin la phase de production ; l'écotoxicité aquatique est plus élevée dans les deux cas, pour les poteaux électriques en eucalyptus, elle est suivie par la consommation ressources puis la consommation d'énergie non renouvelables, pour les poteaux électriques en acier, elle est suivie par l'acidification, puis la toxicité humaine et la pollution photochimique.

3.1.3 Comparaison des impacts de poteaux électriques en eucalyptus et des poteaux électriques en acier.

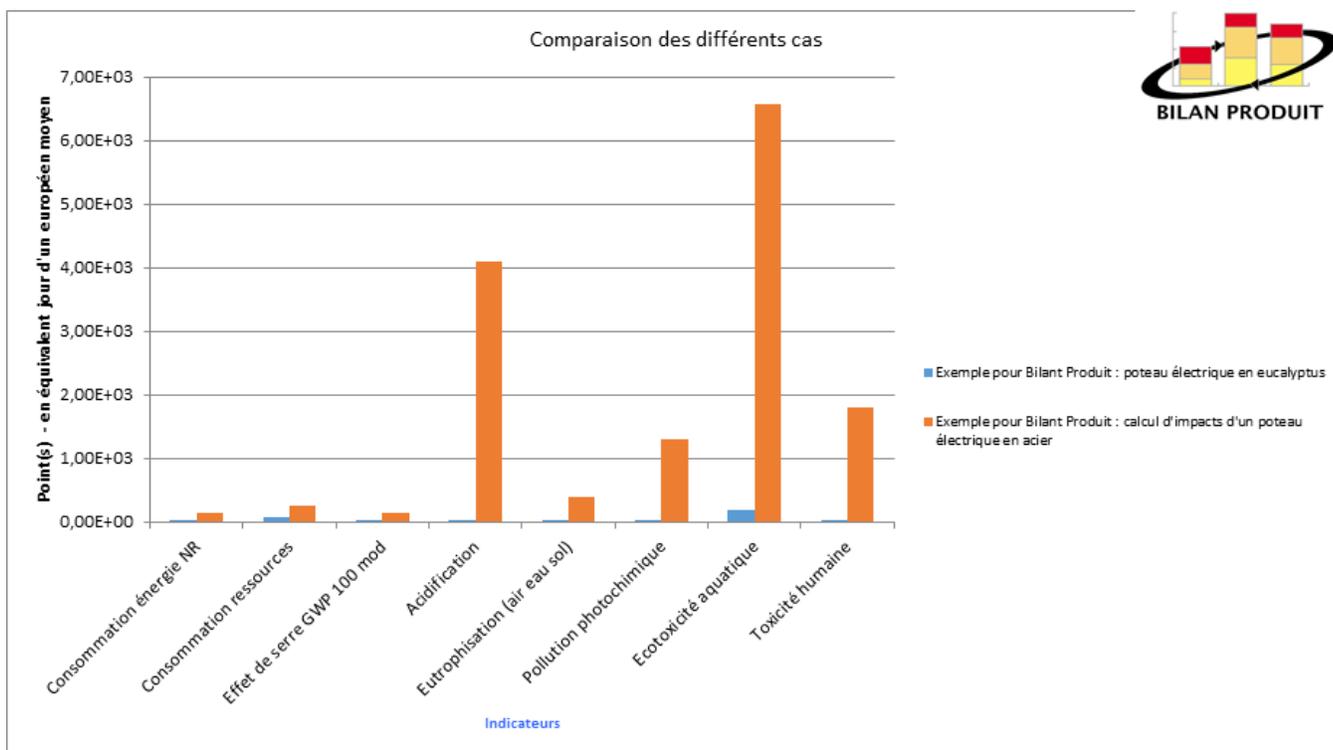


FIGURE 3.10 – Comparaison par indicateur des différents cas

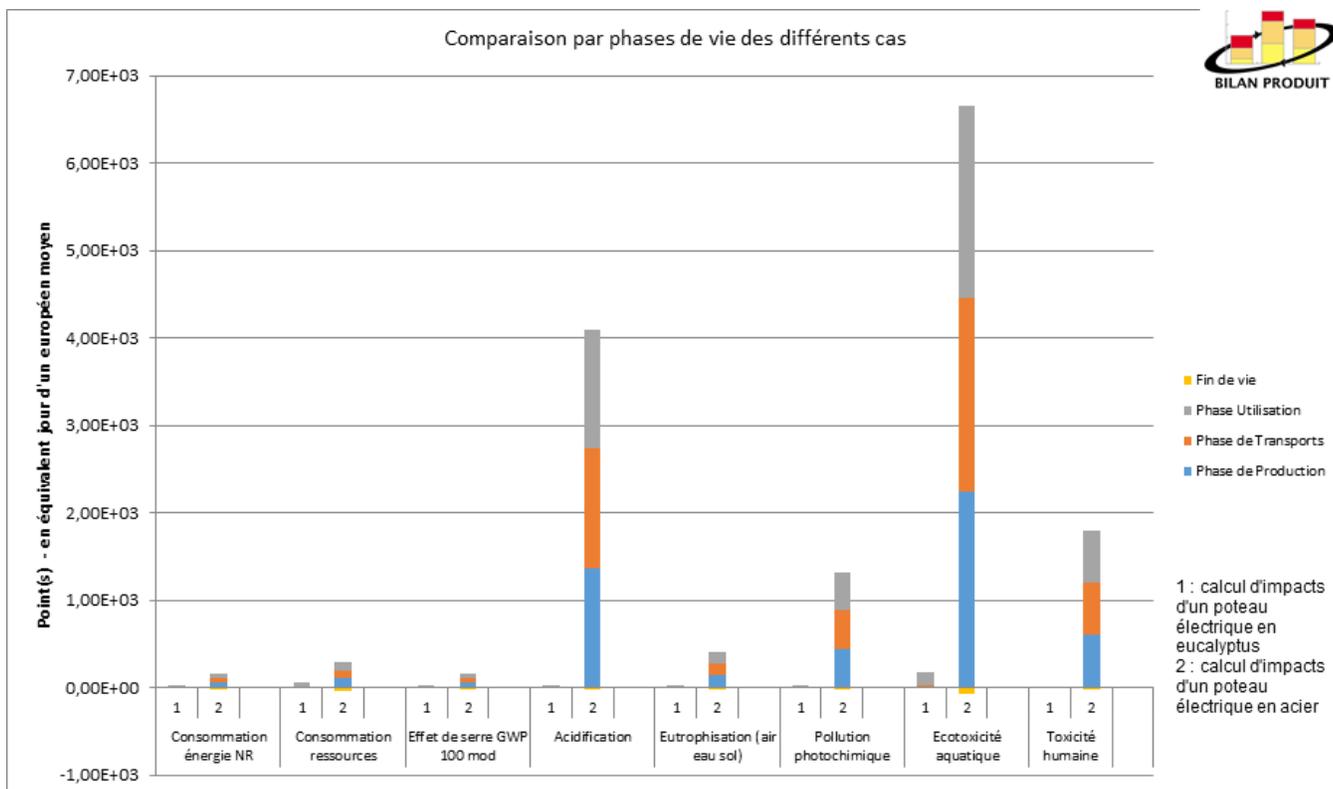


FIGURE 3.11 – Comparaison par phase de vie des différents cas

3.2 DISCUSSION

A partir de ces résultats, il ressort que :

1- Pour la consommation des énergies non renouvelables, cet impact est 431,25 fois plus que la consommation normale définie en Amérique pour les poteaux en bois et 458,14 fois que les poteaux en acier.(Treate Wood council,2012)

2- Pour la consommation des ressources,cet impact est 142 fois plus élevé par rapport à la norme américaine définie pour les poteaux électriques bois et 172 fois plus pour les poteaux électriques en acier.

3- L'impact effet de serre est cet impact est 20,5 fois plus élevé que la consommation normale définie en Amérique pour les poteaux électriques en eucalyptus et

58,5 fois plus élevé pour les poteaux en acier.

4- L'impact d'acidification est 2,54 fois moins élevé par rapport à la norme Américaine pour les poteaux électriques en bois et 12,5 fois moins élevé pour les poteaux électriques en acier.

5- L'impact Eutrophisation est 787,62 fois plus élevé par rapport à la norme américaine pour les poteaux électriques en bois et 816 fois plus élevé pour les poteaux électriques en acier.

6- L'impact pollution photochimique est 125 fois plus élevé par rapport à la norme américaine définie pour les poteaux électriques bois et 200 fois pour les poteaux électriques en acier.

7- L'impact écotoxicité aquatique est 145,88 fois plus élevé que par rapport à la norme américaine définie pour les poteaux électriques en eucalyptus et 1170 fois plus élevé pour les poteaux en acier.

8- L'impact toxicité humaine est 4 fois plus élevé par rapport à la norme américaine définie pour les poteaux électriques en bois et 604,79 fois plus élevé pour les poteaux électriques en acier.

Il est à noter que la phase où les impacts sont élevés est la phase de transport suivie celle de production, celle où les impacts sont moins élevés est la phase de fin de vie.

La relation qui existe entre les indicateurs consommation énergie non renouvelable, consommation des ressources, effet de serre, et eutrophisation entre les impacts des poteaux électriques eucalyptus(IPEE) et poteaux électriques en acier(IPEA) est donnée par :

$$\text{IPEA} = \text{IPEE} + 28,5$$

Nous devons comprendre par là que l'exploitation de l'acier ou de l'eucalyptus

commence par la destruction du couvert végétal. L'indicateur toxicité humaine est plus grande pour les poteaux acier, ce qui signifie que la production de l'acier nécessite beaucoup de produits chimiques que celle des poteaux bois.

Les poteaux électriques en acier sont transportés sur une très grande distance, par voie d'eau et la route avec des engins qui dégagent beaucoup de CO₂ dans l'environnement. Ce qui explique pourquoi l'impact de la phase de transport est le plus élevé. Ceci a contribué à l'obtention des résultats largement un peu au-dessus des résultats définis par la norme américaine pour les poteaux électriques en acier.

Pour les poteaux bois, l'impact de la phase de transport est aussi importante et peut être expliqué par d'énormes poussières que regorge notre environnement et nos routes. L'indicateur consommation des ressources est important pour les poteaux acier traduisant le caractère recyclable de l'acier.

L'indicateur Eutrophisation est un indicateur caractérisé par la prolifération des arbres due à un très grand nombre de CO₂ dégagé dans la nature, il est très importante pour les deux cas par rapport à la norme américaine définie pour les poteaux électriques. Ceci conduit à un manque d'eau et à la disparition des ressources halieutiques. Pour réduire de manière considérable ces impacts, il faut construire des usines de proximité de fabrication des poteaux d'acier et d'eucalyptus.

3.3 Conclusion

Au regard de ce qui précède, il ressort que les poteaux électriques en acier ont un effet néfaste sur l'environnement, leur impact est très élevé sur tout son cycle de vie (de l'extraction de minerais de fer jusqu'à leur fin de vie) par rapport aux poteaux électriques en eucalyptus. Il se pose donc un problème de choix de poteaux

électrique car l'avantage qu'à l'acier sur l'eucalyptus est qu'il est 100 % recyclable.

IMPLICATION DANS LE SYSTEME EDUCATIF

Une implication est une action par laquelle on attribue à quelqu'un un certain rôle dans une affaire (Ask Web Search). Dans notre étude, les implications sont les conséquences attendues de « l'évaluation comparée de l'impact environnemental d'un poteau électrique en eucalyptus et d'un poteau électrique en acier par analyse de cycle de vie dans la ville de Yaoundé ». Pour mieux appréhender notre sujet, nous allons voir l'intérêt didactique dans le système éducatif et élaborer une fiche pédagogique du sujet.

4.1 Intérêt didactique.

La didactique d'une matière s'intéresse au contenu et aux difficultés que pose son enseignement. Pour mieux comprendre la didactique de notre sujet, quelques concepts de base seront définis ; ensuite, mettre en exergue les objectifs de l'étude, sa méthodologie, et comment on doit être évalué. Enfin les problèmes rencontrés dans cette étude.

4.1.1 Définition des concepts

« **Évaluation** » : elle désigne l'ensemble des techniques et des dispositifs qui permettent de fournir à l'évaluateur des informations sur les connaissances et les

compétences des matériaux étudiés (l'eucalyptus et l'acier).

« **Impact environnemental** » : outil utilisé pour évaluer les incidences potentielles survenues lors de la réalisation ou de la mise en oeuvre d'un projet pendant toutes ses différentes phases.

« **Analyse de cycle de vie** » : outil quantitatif des impacts environnementaux des produits et services.

« **Poteau électrique en eucalyptus** » : eucalyptus ayant une forme de cône tronqué servant comme support de ligne électrique.

« **Poteau électrique en acier** » : acier ayant une forme de cône ou de tronc de cône servant comme support de ligne électrique.

4.1.2 Objectif de l'étude.

L'objectif général de cette étude est d'examiner et de comprendre les impacts environnementaux des poteaux électriques en eucalyptus et les poteaux électriques en acier partant de l'extraction jusqu'à leur fin de vie (élimination) en passant par la production, le traitement, le transport et l'utilisation. Pour atteindre la cible, il nous est indispensable de passer par les objectifs spécifiques suivants :

° Identifier les impacts environnementaux d'un poteau électrique en eucalyptus extrait dans la région de l'ouest Cameroun durant tout son cycle de vie de l'extraction jusqu'à sa fin de vie dont l'utilisation est à Yaoundé ;

° Identifier les impacts environnementaux d'un poteau électrique en acier provenant de Chine dans la région de Shanghai durant tout son cycle de vie dont l'utilisation est à Yaoundé ;

° L'identification et l'évaluation des impacts sont élaborées 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.

4.1.3 Méthodologie

La méthodologie de ce travail est l'étude par analyse de cycle de vie. Elle a permis d'obtenir les données pour chaque étape de cycle de vie des matériaux. Ceci de l'extraction de la matière jusqu'à sa fin de vie (recyclage). Au Cameroun, l'opérateur chargé de la distribution de l'énergie électrique est ENEO. Cette distribution passe par des lignes électriques supportées par des poteaux. Cette société a eu une position importante dans l'obtention de nos données. Nous avons adressé une demande d'obtention des données relatives aux poteaux électriques(en acier et eucalyptus) qu'ils installent dans la ville de Yaoundé. Adressée au Directeur régional D'ENEO Région du centre qui nous a orientés vers les personnes spécifiques de notre sujet. Il s'avère que : Les poteaux en eucalyptus provenant de la région de l'ouest sont traités à L'UTPB de bamoungoum où nous avons effectué plusieurs excursions. Les poteaux en acier proviennent de Chine. Passant par le port de Douala pour arriver à Yaoundé. Ayant obtenu toutes les données nécessaires pour réaliser cette étude, nous avons utilisé les outils de modélisation qui sont : Le logiciel Arcgis 10.2 (version d'évaluation) qui nous a permis de cartographier la zone d'étude tout en calculant les distances entre ville; Le logiciel BILAN PRODUIT outil d'analyse de cycle de vie de produits tout en les comparant.

4.2 Fiche pédagogique.

La fiche pédagogique décrit le déroulement des activités pédagogiques, c'est une référence d'enseignement pour que le processus d'apprentissage atteigne le but décrit

dans le syllabus. Elle comprend les éléments importants dans l'apprentissage comme suit :

- Le thème traité ;
- Le niveau des apprenants ;
- Les objectifs généraux, le but du processus d'apprentissage ;
- Le média utilisé pour pratiquer ;
- La méthode de travail ;
- La démarche pédagogique.

Fiche pédagogique

Thème : Évaluation des impacts environnementaux par les produits de construction

Titre de la séance : la pollution

Niveau des apprenants : 1ère A

Domaine : Chimie

But : donner les solutions au problème de la pollution de l'environnement

Objectifs :

- donner les principaux polluants de l'air, de l'eau, du sol.
- donner l'origine et les conséquences de ces polluants.
- donner des solutions préconisées pour limiter la pollution

Pré-requis et pré acquis :

La chimie et l'environnement en classe de 4ème

Matériels : craie, tableau, feuille, stylos à bille

Documents : livre programme 1ère A, livres au programme (majors, les classiques africains)

Activité :

Une étude menée sur l'évaluation comparée de l'impact environnement des poteaux électriques en eucalyptus et en acier dans la ville de Yaoundé à partir de la méthode d'analyse de cycle de vie (de l'extraction de la matière première jusqu'à la fin de vie en passant par la production, le transport, et l'utilisation) de chaque type de poteau montre que les poteaux électriques en acier ont le plus haut niveau de charges environnementales soit de 28,5% en plus que les poteaux électriques en eucalyptus pour les indicateurs d'impact suivants : consommation de l'énergie non renouvelable, consommation de ressources, effet de serre et eutrophisation. Ces processus s'accompagnent par la déjection dans l'environnement des substances telles que :

Phase d'extraction : poussières fugitives, déchets solides

Phase de production : CO₂, SO₂, NO₂, hydrocarbures, H₂O, H₂S, ZnO, CO, C, Boues, PO₃₋₄, NH₃, Chromates, l'arsenic, cuivre

Phase de transport : CO, C, CO₂, H₂O.

1-Définir pollution.

2-Donner le nom de chacune des substances.

3-Identifier les principaux polluants de l'air, de l'eau, du sol.

4-donner l'origine et les conséquences de ces polluants.

5-Identifier parmi ces substances une responsable de l'effet de serre.

6-Donner une solution à ce type de pollution.

Conclusion et perspectives

Au terme de notre étude, la production des poteaux électriques en acier regorge une charge environnementale importante de 28,5% par rapport à la production des poteaux électriques en eucalyptus. Ce résultat a été obtenu par la méthode ACV. Cette méthode présente des limites, le caractère social par exemple n'est pas pris en compte dans la méthode ACV, dans les arrondissements de la ville de Yaoundé, on est confronté le plus souvent aux coupures d'énergie électrique ou aux incendies dûs à l'utilisation des poteaux bois, exprimant le fait que la majorité des poteaux qui tombent ne sont pas traités. Car tous les poteaux bois traités sont sanctionnés par la marque de l'usine de traitement. On peut conseiller aux décideurs de précociser l'utilisation du bois comme ressource renouvelable pour produire les poteaux électriques par rapport à l'acier (ressource non renouvelable et grand consommateur d'énergie) ou tout simplement de construire les usines de proximité de production de poteaux électriques en acier si on tient compte du caractère social des ressources. Le logiciel de traitement est conçu selon le modèle européen, nous comptons réaliser un logiciel D'ACV selon le modèle camerounais qui tient compte des paramètres environnementaux du cameroun.

Bibliographie

AES-SONEL 2day.Tchouakeu Yanzeu,2007.Le poteau bois d'eucalyptus parlons-en.publication de la sous direction communication :n°13.

ALUCAM,2008.République du Cameroun.Ministère de l'industrie des mines et du Développement Technologique.Étude d'impact écologique et social de la filière aluminium au Cameroun.Rapport final

American Iron and Seel Institute (AISI),1995 Steel Processing plow Lines(Washinton, DC)

Ane-Marie, IOSIF.Modélisation physico-chimique de la filière classique de production d'acier pour l'analyse de l'inventaire du cycle de vie.

Avis relatif au traitement des bois d'Aires en jeux par les « CCA » (oxydes de cuivre, chrome, arsenic) Vu le code de la consommation, notamment ses articles L.224-1 et L.224-4, paris le 05 octobre 1994.

Bureau International de Travail(BIT),1992. Environnemental récente dans l'industrie du fer et de l'acier.Rapport I (Genève).

Claude Michel. Etudes Engineering developpement EED.

Cyrille NGOUANA KENGNE,septembre 2012.Cadre de gestion environnemen-tale et social du programme de développement du secteur de l'énergie, Ministère de l'eau et de l'énergie(cyrille ngouana@yahoo.com)

Davis Langdon, 2010. Comparison of environmental impact (CO2) of timber and

PVC-U Windows. Global construction consultants.

Fonweban J.N.Houllier.F,1995.Modèle de croissance en hauteur à partir plaquettes temporaires pour eucalyptus saligna au Cameroun.ANNALS of Forest science Volume 52.Number 3.pp263-281.

Frédéric Rosca,Étude de l'impact de la cogénération d'électricité à partir des coproduits de scierie sur le cycle de vie d'un sciage du bassin du Congo mai 2013, Résultats intermédiaires.

Guido SONNEMANN,Daniel NORMANDIN,and Sophie LAVALLEE,2005.L'analyse du cycle de vie des produits et services :un outil d'aide à la décision pour les décideurs publics et privés en matière de développement durable.*Liaison énergie-francophonie.*

International Iron Steel Industrie(IISI),1992. Environmental control in the Steel Industry, papers prepared for the 1991 ENCOSTEEL. Word Conference,Brussels.

ISO 14040.Management environnemental,1997 Analyse de cycle de vie-principes généraux et cadre.Genève ISO.

J.BOUTIN,2014. Méthodologie pour l'élaboration de fiches de séquences pédagogiques.Académie Rouen,biotech S/E Lycée M.Leroy (Evreux).France.

M.Asif,Munier,and J.Kubie,2005.Sustainability analysis of Window frames Building Services Engineering Research and Technology,26(1) :71,87.

Olivier Jollet a al,2003. Impact 2002+ :a new life cycle impact assessment methodology the international Journal of life cycle assessment,8(6) :324-330.

Ottawa(ontario),1995.A life cycle assessment Technology,ATHENAmc,Forintek Canada Corp.

programme des nations unies pour l'environnement (PNUE), 1986 : Guidelines for Environmental Management of Iron and Steel works(Paris)

S.Bell, B.Davis et al. Rapport n°2005-43(CF) : Rapport final sur l'efficacité éner-

gétique et économie d'énergie découlant du recyclage.

Spécifications techniques pour fourniture et mise en oeuvre des poteaux bois AES-SONEL.édition juin 1982.

Steel Market Development Institute, Life cycle Assessment of Wood and steel Utility distribution poles (www.smdisteel.org).

Thomas Brisset and Bettina Horsch.Analyse environnemental produit.Abibois.

Treated wood council, 2012.Conclusion and summary Rapport on an environmental life cycle Assessment of Utility Poles.ISO 14044 complaint.

WWW.Osmose-europe.com

annexe

FIGURE 4.1 – Treated wood council, 2012

Environmental performance (per pole)

Impact category	Units	Pentachlorophenol -treated pole	Concrete pole	Galvanized steel pole	Fiber-reinforced composite pole
Energy use					
Energy input (technosphere)	MMBTU	4.0	6.5	2.9	0.19
Energy input (nature)	MMBTU	1.5	10	6.5	11
Biomass energy	MMBTU	1.5	0.094	0.11	-0.012
Environmental indicators					
Anthropogenic greenhouse gas	lb-CO ₂ -eq	162	3,190	1,699	1,911
Total greenhouse gas	lb-CO ₂ -eq	-789	3,213	1,725	1,908
Acid rain air emissions	lb-H+ mole-eq	11	886	622	436
Smog potential	g NO _x / m	13	5.0	2.3	1.9
Ecotoxicity air emissions	lb-2,4-D-eq	1.3	19	5.5	2.1
Eutrophication air emissions	lb-N-eq	0.068	0.32	0.10	0.20
Resource use					
Fossil fuel use	MMBTU	4.1	16	8.4	10
Water use	gal	46	180	106	1,248

SOURCE: TREATED WOOD COUNCIL

Les données d'inventaire de cycle de vie qui sont présentées ci-après ont été calculées pour l'unité fonctionnelle définie en 1.1 et 1.2

Un guide de lecture des tableaux est disponible page 5.

2.1 Consommations des ressources naturelles (NF P 01-010 § 5.1)

2.1.1 Consommation de ressources naturelles énergétiques et indicateurs énergétiques (NF P 01-010 § 5.1.1)

Flux	Unités	Production	Transport	Mise en œuvre	Vie en œuvre	Fin de vie	Total cycle de vie	
							Par annuité	Pour toute la DVT
Consommation de ressources naturelles énergétiques								
Bois	kg	0,00169		0	0		0,00169	0,0843
Charbon	kg	0,0410		0	0		0,0410	2,05
Lignite	kg	5,81 E-06	9,93 E-08	0	0		5,92 E-06	0,000296
Gaz naturel	kg	0,0172	4,76 E-05	0	0		0,0172	0,862
Pétrole	kg	0,0103	0,00204	0	0	0,000110	0,0124	0,621
Uranium (U)	kg	7,74 E-08	1,07 E-09	0	0		7,85 E-08	3,93 E-06

SOURCE: syndicat National du profilage des produits longs en acier

Classification des poteaux par circonférence et par diamètre

Classe	Diamètres (m)	Hauteur du poteau (m)							
		8m	9m	10m	11m	12m	13m	14m	15m
A	d	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11			0,12
	D	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25			0,27
B	d	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14
	D	0,16	0,17	0,18	0,19	0,205	0,215	0,225	0,23
C	d	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16
	D	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,255
D	d	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18
	D	0,21	0,22	0,23	0,24	0,255	0,265	0,275	0,285
E	d	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21
	D	0,235	0,25	0,26	0,27	0,295	0,295	0,305	0,315
F	d	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23
	D	0,255	0,265	0,28	0,29	0,305	0,315	0,325	0,34
G	d	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,25
	D	0,275	0,285	0,30	0,31	0,325	0,335	0,35	0,36

Source : ENEO CAMEROUN

BILAN énergétique de la production d'une tonne d'acier laminé à chaud

Poste	Energie (MJ)
Agglomération	2876
Cokerie	2109
Haut-fourneau	12828
Convertisseur	176
Coulée continue	232
Laminage à chaud	3102
Total	21 327

source: IISI



PROCES VERBAL DE TRAITEMENT DES POTEaux BOIS

0000386

TAIL DE CHARGE

DETE :

N° de charge :

ESSENCE :

Quantité	Longueur (m)	classe	Volume Unit (m3)	Volume Tot (m3)	Hum. Réel (%)	Quantité	Longueur (m)	classe	Volume Unit (m3)	Volume Tot (m3)	Hum. Réel (%)
8		C	0,16			12		F	0,99		
8		D	0,19			12		G	0,70		
8		E	0,21			13		C	0,42		
8		F	0,26			13		D	0,50		
9		C	0,20			13		E	0,58		
9		D	0,24			13		F	0,74		
9		E	0,28			13		G	0,81		
9		F	0,33			14		C	0,50		
9		G	0,36			14	14	D	0,58	0,58	
06	11	C	0,30	1,8		14	14	E	0,67		
05	11	D	0,36	1,8		14	14	F	0,80		
08	11	E	0,40	1,2		14	14	G	0,91		
	11	F	0,50			15		C	0,55		
06	11	G	0,59	3,4		15		D	0,66		
	12	C	0,36			15		E	0,77		
	12	D	0,43			15		F	0,89		
	12	E	0,50			15		G	1,08		

Volume total (1)

8,2

m³

Volume total (2)

0,58

m³

Volume total (1)+(2)

8,78 m³

TAIL DE LA SOLUTION

T= °C ; DENSITE=

T= °C ; DENSITE=

Concentration du traitement précédent :

%

Concentration du traitement :

% (B)

Signatures

Chef de QUART

Chef des Usines

Chef de QUART suivant

TAIL DU CYCLE DE TRAITEMENT

CYCLE	VIDE/PRESSI ON MAXIMUM	HEURE DEBUT	HEURE FIN	DUREE DE TRAITEMENT
VIDE INITIAL	0,8 BARS	H mn	H mn	1 H00 mn
REPLISSAGE		H mn	H mn	0H20 mn
PRESSI ON	+14,0 BARS	H mn	H mn	1H30 mn
VIDANGE		H mn	H mn	0H30 mn
VIDE FIN	BARS	H mn	H mn	0H20 mn
VIDANGE FINALE/AE		H mn	H mn	0H20 mn
DUREE TOTAL DE TRAITEMENT		H mn		
(1)DETAIL DU NIVEAU DE RESERVOIR DE STOCKAGE		(2)DETAIL RETENTION DES OXYDES		
STOCKAGE INITIAL	36200 litr	Absorption unitaire= C/A= 178,99 1/m3		
APPOINT PRODUIT	69 litr	(D)		
APOINT D'EAU	1934 litr	RETENTION DES OXYDES= DXB/100= 8,05		kg/m3
INDEX DEBUT TRAITEMENT	38200 litr	CONSOMMATION ELECTRIQUE=		KWh
INDEX FIN TRAITEMENT	36700 litr	PRODUIT DE TRAITEMENT :Celcure AC-450		
Consommation (C)	1300 litr	(marque déposée)		