



ETUDE DE FAISABILITE DE LA MISE EN PLACE D'UNE USINE DE VALORISATION DES DECHETS D'EQUIPEMENTS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES A OUAGADOUGOU, BURKINA FASO

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER
SPECIALITE EAU ET ASSAINISSEMENT

Présenté et soutenu publiquement le 06 Juillet 2020 par

Leïla Yasmine TOURE N°20140137

**Directeur de mémoire : Dr. Harinaivo A. ANDRIANISA, Maître de Conférences,
Enseignant-chercheur en Eau et Assainissement Urbain, 2iE**

Encadrants 2iE :

Dr. Seyram SOSSOU, Maître-Assistant, Enseignant-chercheur, 2iE

Dr. Malicki ZOROM, Maître-Assistant, Enseignant-chercheur, 2iE

Maître de stage : M. Alassane SANOU, Directeur exécutif de l'ABPEV

Structure d'accueil du stage : Association Burkinabé pour la Promotion des Emplois Verts

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Héla KAROUI

Membres et correcteurs : Mr. Djim DOUMBE DAMBA
Dr. Harinaivo A. ANDRIANISA
Mr. Alassane SANOU

Promotion 2019/2020

CITATION

**« La logique vous conduira d'un point A à
un point B, l'imagination et l'audace vous
conduiront où vous désirez. »**

Albert Einstein

DEDICACE

A mon frère Feu Saïd Moustapha TOURE,

A mes parents Mohamadou TOURE et Noélie-Louise PALE,

A mon frère aîné Lamine TOURE et à ma sœur Oumine TOURE,

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réussite de ce projet.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont à l'endroit de :

- L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et l'Environnement (2iE) ;
- Dr Harinaivo A. ANDRIANISA, Maitre de Conférences, Chef du Département Eau et Assainissement, 2iE ;
- Dr Seyram SOSSOU, Maitre-Assistant, Enseignant-chercheur, 2iE ;
- Dr Malicki ZOROM, Maitre-Assistant, Enseignant-chercheur, 2iE ;
- L'Association Burkinabè pour la Promotion des Emplois Verts (ABPEV) ;
- M. Alassane SANOU, Directeur Exécutif de l'Association Burkinabè pour la Promotion des Emplois Verts (ABPEV)

Pour leur soutien et leur disponibilité dans la réalisation de la présente étude.

Je tiens aussi à remercier tout le personnel de l'ABPEV pour leur accueil chaleureux dans l'accompagnement durant ce travail ;

Je remercie mes chers amis Myriam BARRY, Arame BOLY, Abi OUATTARA, pour la motivation et le soutien qu'elles m'ont apporté, Brice BERMENDORA et Miguel OKOUMASSOUN pour les nombreuses aides et conseils, Landry DOMANOU pour sa présence constante durant les moments difficiles ;

Je remercie enfin tous mes collègues de la promotion S10A 2019-2020, particulièrement Dominique DJAMBOU, le corps enseignant de 2iE et tout le personnel de 2iE pour leurs contributions diverses.

RESUME

Le domaine de la gestion des déchets a toujours été peu approfondi dans les pays d'Afrique. Pourtant avec les années, le développement des populations et du cadre de vie, de grandes quantités de déchets sont émises. Le Burkina Faso n'y fait pas exception. Et si le système de gestion global des déchets n'est pas grandement avancé, celui des déchets d'équipements électriques et électroniques (D3E) est encore moins développé. De grandes quantités d'équipements électriques et électroniques sont importées chaque année dans le pays depuis l'occident, et la majeure partie de ses équipements finissent sous forme de déchets et encombrant ceux qui les possèdent. Ces accumulations de déchets soulèvent une importante question au sujet de leur gestion : Comment bien disposer de ces déchets ?

Le système de gestion des D3E à Ouagadougou a été mis en place par l'ABPEV, qui s'occupe de la collecte, du tri et de l'exportation des déchets. Cependant l'association n'arrive à collecter que 19,27 tonnes de déchets, correspondant à environ 20% du flux total de 100 tonnes de déchets entrant dans le pays, et aucun traitement ne se fait sur place. Cette étude a porté sur la faisabilité de la mise en place d'une usine permettant le traitement de 100 tonnes de ces D3E. Après documentation sur les études menées précédemment sur les D3E et consultation auprès de constructeurs d'appareillages de traitement, des technologies ont été retenues et un traitement a été proposé. Le traitement proposé consiste dans sa première étape en une séparation des composantes à traiter : le plastique et les métaux. Les plastiques sont transformés en granulats par traitement mécanique tandis que les métaux sont séparés puis fondus et coulés en barres et lingots. Les produits obtenus seront revendus dans un premier temps sur le marché local, et pourraient être plus tard vendu à l'international.

Un traitement du plastique et des métaux a été proposé, afin d'obtenir des granulats plastiques et des barres et lingots de métaux. Après évaluation financière, l'investissement nécessaire pour la réalisation de ce projet est de 897 633 256 francs CFA, la Valeur Annuelle Nette de 380 636 596 francs CFA, le Taux de rentabilité Interne de 11% avec un Délai de Récupération du Capital Investi de 8 ans.

La conclusion peut être tirée qu'un projet de mise en place d'une telle usine est réalisable autant sur le plan financier que technique. Une telle usine permettrait non seulement d'aider à la protection de l'environnement par la réduction des D3E, mais aussi aider au niveau social par la création d'emplois, au niveau économique avec de bons revenus. Son champ d'action pourrait être étendu au niveau de l'ensemble du territoire national, pour atteindre au long terme toute la sous-région.

Mots Clés : ABPEV ; BURKINA FASO ; EQUIPEMENTS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES ; ENVIRONNEMENT ; TRAITEMENT DES DECHETS ; OUAGADOUGOU.

ABSTRACT

The field of waste management has always been little explored in African countries. Yet over the years, the development of populations and the living environment, large quantities of waste are emitted. Burkina Faso is no exception. And if the overall waste management system is not greatly advanced, that of waste electrical and electronic equipment (WEEE) is even less developed. Large amounts of electrical and electronic equipment are imported into the country from the West every year, and most of its equipment ends up as waste and clogs those who own it. These accumulations of waste raise an important question about their management: How to properly dispose of this waste?

The WEEE management system in Ouagadougou was set up by ABPEV, which takes care of the collection, sorting and export of waste. However, the association manages to collect only 19.27 tons of waste, corresponding to about 20% of the total flow of 100 tons of waste entering the country, and no treatment is done on site. This study focused on the feasibility of setting up a plant to process 100 tons of these WEEE. After documentation of the studies carried out previously on WEEE and consultation with manufacturers of treatment equipment, technologies were selected and a treatment was proposed. The proposed treatment consists in its first step in a separation of the components to be treated: plastic and metals. Plastics are transformed into aggregates by mechanical processing while metals are separated then melted and cast into bars and ingots. The resulting products will initially be resold on the local market, and may later be sold internationally.

A treatment of plastics and metals has been proposed, in order to obtain plastic aggregates and metal bars and ingots. After financial evaluation, the investment required for the realization of this project is 897,633,256 XOF, the Net Annual Value of 380,636,596 XOF, the Internal Rate of Return of 11% with a Recovery Time of Invested Capital of 8 years.

The conclusion can be drawn that a project to set up such a plant is feasible both financially and technically. Such a plant would not only help protect the environment by reducing WEEE, but also help at the social level by creating jobs, at the economic level with good income. Its field of action could be extended to the level of the entire national territory, to reach in the long term the entire sub-region.

Key words: ABPEV; BURKINA FASO; ENVIRONMENT; OUAGADOUGOU, WEEE.

LISTE DES ABREVIATIONS

ABPEV : Association Burkinabé pour la Promotion des Emplois Verts

BFR : Besoin en Fond de Roulement

CE : Cartes Electroniques

D3E : Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques

E-déchets : Déchets Electroniques

EEE : Equipements Electriques et Electroniques

IFC : International Finance Corporation

ONEA : Office National de l'Eau et de l'Assainissement

PN-AEP : Programme National d'Adduction en Eau Potable

SONABEL : Société Nationale Burkinabé d'Electricité

SST : Santé et Sécurité au Travail

SOMMAIRE

Dédicace.....	III
Remerciements.....	IV
Résumé	V
liste des abréviations	VII
Sommaire.....	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	X
LISTE DES FIGURES.....	XI
<i>I. INTRODUCTION.....</i>	<i>1</i>
<i>II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE</i>	<i>3</i>
<i>III. PRESENTATION DU PROJET.....</i>	<i>4</i>
1. Contexte et justification	4
2. Diagnostic/ état des lieux.....	5
3. Données de base.....	13
<i>IV. METHODOLOGIE DE CONCEPTION</i>	<i>16</i>
<i>V. ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE.....</i>	<i>18</i>
1. Introduction.....	18
2. Prétraitement.....	18
3. Valorisation mécanique des plastiques	20
4. Récupération des métaux dans les cartes électroniques.....	22
5. Raffinage et transformation des métaux	24
6. Incinération	26
7. Choix et Aménagement du site.....	27
8. Conclusion	35
<i>VI. ETUDE FINANCIERE – :.....</i>	<i>37</i>
1. Introduction.....	37
2. Détermination et des paramètres financiers	37
3. Conclusion	52

VII.	<i>NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL et social</i>	53
1.	Rappel du cadre législatif régissant le projet (notice d'impact ou étude d'impact)	53
2.	Rappel des composantes et phases du projet.....	55
3.	Identification et évaluation des impacts.....	55
4.	Mesures d'atténuation ou de bonification.....	62
VIII.	<i>ANALYSE DES RISQUES</i>	63
1.	Identification des danger, évaluations des risques et mesures de contrôle	63
2.	Exigences légales et autres	67
IX.	<i>Conclusion et recommandations</i>	72
X.	<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	74
XI.	<i>Annexes</i>	lxxv

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Avantages et inconvénients du système de gestion des D3E actuel	8
Tableau II : Procédés métallurgiques, avantages et inconvénients .. Erreur ! Signet non défini.	
Tableau III : Technologies de traitement des déchets	9
Tableau IV : Inventaire et calcul du gisement total collecté en 2019 (ABPEV)	15
Tableau V : Choix de matériel pour le prétraitement	19
Tableau VI : Choix de matériel pour le traitement du plastique	22
Tableau VII : Choix de matériel pour le traitement des cartes électroniques	24
Tableau VIII : Choix du matériel pour le traitement des métaux.....	26
Tableau IX : Choix de matériel pour l'incinération.....	27
Tableau X : Dimensions des équipements de traitement	29
Tableau XI : Liste du personnel nécessaire	32
Tableau XII : Estimation de la consommation en énergie	34
Tableau XIII : Estimation de la consommation en eau	35
Tableau XIV : Estimation des quantités de déchets collectés sur 20 ans	38
Tableau XV : Calcul de l'investissement	39
Tableau XVI: Calcul des charges d'exploitation.....	41
Tableau XVII: Calcul des amortissements	42
Tableau XVIII: Détermination du BFR	43
Tableau XIX: Calcul du chiffre d'affaire annuel.....	44
Tableau XX: Estimation du chiffre d'affaire sur 10ans.....	45
Tableau XXI: Compte de résultats prévisionnel	46
Tableau XXII : Plan de financement	47
Tableau XXIII : Plan de remboursement	48
Tableau XXIV : Budget de trésorerie	49
Tableau XXV : Rentabilité financière - Rentabilité économique	50
Tableau XXVI : Critères de choix d'investissement	51
Tableau XXVII : Matrice de Léopold pour l'identification des impacts.....	57
Tableau XXVIII : Analyse des impacts	61
Tableau XXIX : Matrice d'évaluation des risques	64
Tableau XXX : Moyens de contrôle des différents risques	65

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de la ville de Ouagadougou.....	3
Figure 3 : Photo de coques plastiques avec code résine.....	11
Figure 2 : Schémas logistique du système proposé.....	13
Figure 4 : Présentation d'une carte électronique	22
Figure 5 : Plan de masse de l'usine	30
Figure 6 : Directives IFC sur les EPI (1).....	70
Figure 7 : Directives IFC sur les EPI (2).....	71

I. INTRODUCTION

La problématique de la gestion et de l'impact des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (D3E) a reçu une grande attention durant les dernières années. Cette attention résulte des quantités croissantes et de la diversité des Equipements Electriques et Electroniques (EEE) utilisés dans la société moderne, de leur renouvellement incessant accompagné d'un important flux de déchets et de la présence d'éléments chimiques toxiques dans les EEE, qui peuvent présenter des risques pour la santé humaine et environnementale s'ils ne sont pas bien gérés (Townsend 2011). De nombreux pays et régions du monde ont entrepris des recherches scientifiques poussées dans le but de développer des systèmes efficaces de collecte et de traitement des EEE en fin de vie.

Dans la plupart des pays en développement, les stratégies efficaces qui prennent en compte toutes les étapes du cycle de vie des EEE et particulièrement leur fin de vie sont toujours à la traîne. Les infrastructures, installations de traitement et les technologies innovantes pour la bonne gestion des D3E sont absentes à cause du manque d'investissement et des coûts élevés engendrés par celles-ci (Mmerek, Li, and Li'ao 2015). Dans des pays africains comme le Nigéria certains équipements importés sont être directement remis à la vente tandis que d'autres sont d'abord réparés avant d'être vendus, et il existe de grandes quantités importées déjà à l'état de déchets et qui ne sont pas réutilisables. A leur fin de vie ces équipements de seconde main sont entreposés de manière non contrôlée sur des sites de dépôts, où ils sont brûlés, libérant des substances dangereuses dans l'environnement (Umesi and Onyia 2008). De même, la valorisation de ces déchets dans un pays tel que le Cameroun est très partielle. Elle ne se limite qu'aux seules fractions métalliques telles que le fer, le cuivre, l'aluminium et le plomb, les autres fractions (verres, plastiques et composants internes) étant simplement relargués dans la nature (Tchoupou, Ngnikam, and Yelkouni, n.d.). Au Sénégal, le système de gestion des D3E est articulé principalement autour de quatre (4) étapes notamment, le stockage, le recyclage, la mise en décharge et l'incinération. Le même schéma est d'ailleurs retrouvé au Burkina Faso, ainsi que dans la majeure partie des pays de la sous-région. Toutes ces méthodes artisanales sont associées à des conséquences néfastes sur l'environnement et la santé du fait que les déchets électroniques contiennent des composants toxiques comme le plomb, le mercure ou le béryllium. Ces derniers sont des métaux lourds qui peuvent avoir divers effets néfastes sur la santé des populations et contaminer les sols dans les zones de

dépôt (Dieng et al. 2017). Dans d'autres pays comme le Botswana, il est difficile d'identifier les grandes étapes de cette gestion par manque de politiques portant sur les « e-déchets ». Les analyses scientifiques dans les pays en développement révèlent que le problème est constitué par : le nombre limité des infrastructures de collecte, des réseaux de collecte séparés, le manque d'accès à certaines technologies, équipements et services pour la gestion des déchets solides. La co-élimination des déchets domestiques avec les D3E dans les sites de décharges ouverts et terrains vides des villes est généralement pratiquée (Mmerek, Li, and Li'ao 2015).

Les D3E contiennent des quantités significatives de métaux précieux, d'éléments rares en plus des métaux et autres composantes toxiques (Sethurajan et al. 2019) d'où l'importance de mettre en place un système efficace de traitement afin de récupérer les parties les plus riches pour valorisation et disposer des composantes toxiques de manière à protéger l'environnement et la santé humaine.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la possibilité d'implémentation d'une usine pouvant offrir un traitement complet des D3E à Ouagadougou, au Burkina Faso. Pour ce faire nous passerons par différentes étapes. A la suite de cette introduction, il sera présenté en premier la structure d'accueil et le projet, en second, la méthodologie de conception et les différentes études de faisabilité, suivis de la notice d'impact environnemental et social et l'analyse des risques, et enfin nous terminerons par une conclusion générale.

II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE

Cette étude a été menée en collaboration avec l'Association Burkinabé pour la Promotion des Emplois Verts (ABPEV), s'occupant de la continuité des activités des « Ateliers du Bocage » au Burkina, qui est aujourd'hui un acteur incontournable de la gestion des D3E au Burkina Faso car elle constitue l'unique structure formelle du pays. Située dans le quartier de Paag-la-yiiri sur le 1396 Avenue des Tansoaba à Ouagadougou, l'association est en charge de la collecte des déchets issus d'appareils électriques et électroniques en fin de vie.

La zone d'étude, Ouagadougou, communément appelée *Ouaga*, est la capitale et plus grande ville du Burkina Faso. C'est le centre culturel, économique et administratif du pays. La ville est située à peu près au centre du Burkina Faso, dans la province du Kadiogo. La forte croissance démographique de la ville de Ouagadougou, dont la population dépasse désormais 2,8 millions d'habitants (Insd, 2019) pose également un grave problème en termes de pollution, de transports, de sécurité, de santé et d'éducation. Les services et infrastructures de la capitale ne sont cependant pas adaptés à une telle population en plein boom et ceci pose de nombreux problèmes dont celui de la gestion de ses déchets.

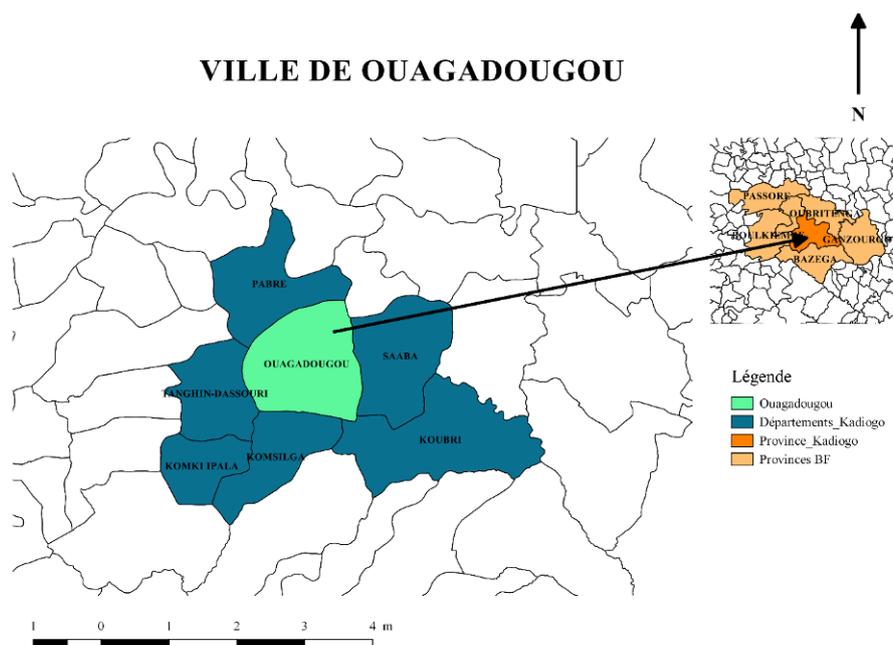


Figure 1 : Carte de la ville de Ouagadougou

III. PRESENTATION DU PROJET

1. Contexte et justification

Avec l'avancée des nouvelles technologies dans le monde, on constate l'essor de nombreux appareils électriques et électroniques. Une grande partie des ressources en minerais de notre sous-sol se retrouve maintenant dans les ordinateurs, téléphones, télévisions et autres appareils présents dans la vie de tous les jours, appareils qui sont devenus de véritables « gisements hors-sol ». Si ces nouvelles technologies viennent faciliter la vie des populations, les conséquences liées à leur cycle de vie peuvent causer de nombreux dommages à l'environnement et devenir un danger pour la santé de l'Homme. Le problème se pose notamment au niveau de la fin de vie des équipements et de la façon dont il est possible d'en disposer. Si dans les pays développés des initiatives ont été prises quant au traitement et à la valorisation des D3E, dans les pays en voie de développement, la problématique se pose toujours.

L'Afrique reçoit les EEE en fin de vie venant de l'occident, qui sont mis directement sur le marché pour ceux en meilleur état, ou d'abord réparés avant d'être vendus pour les équipements les plus endommagés. Il se trouve cependant qu'une grande partie de ces équipements est inutilisable et donc réduite au statut de déchet. De nombreux matériaux précieux peuvent être extraits de ces déchets et leur bonne gestion serait un boost pour l'économie verte en Afrique.

Mais extraire les métaux des D3E n'est pas aussi aisé. En effet, mis à part les substances valorisables, les D3E, qui sont classés comme déchets dangereux, contiennent aussi différents types de substances dangereuses présentant des risques pour l'environnement et la santé humaine. Il faut donc des compétences spécifiques et des technologies avancées pour espérer récupérer sans risque une quantité rentable des substances valorisables. Ensuite, pour pouvoir recycler les e-déchets à l'échelle industrielle, il faut des stocks importants, massifiés, concentrés au même endroit. A l'heure actuelle, maîtriser les différents types de D3E et en assurer déjà la collecte pour en constituer un gisement significatif et minimiser les impacts négatifs sur l'environnement est primordial pour les pays en voie de développement.

Dans la perspective de l'amélioration de la gestion des D3E à Ouagadougou, une étude en

partenariat avec l'ABPEV a été entreprise afin de trouver une solution pour palier au problème de traitement et de valorisation de ces déchets.

La problématique de la mauvaise gestion des D3E dans la ville de Ouagadougou est très importante au vu de la prolifération des nouvelles technologies et de l'impact que leur fin de vie pourrait avoir sur l'environnement et sur la santé humaine. Il serait important donc d'envisager des méthodes de traitement et/ou valorisation efficaces afin d'anticiper sur les impacts négatifs que l'accumulation des D3E pourrait avoir dans le futur.

2. Diagnostic/ état des lieux

a) Cadre juridique de la gestion des D3E

Au Burkina Faso, un certain nombre de lois et de décrets entourent la gestion des déchets et il faut noter qu'il n'y a pas de réglementation spécifique concernant les D3E mais toutefois la réglementation en vigueur leur est applicable. Parmi les lois sur la gestion des déchets on peut parler de :

- La **loi n°006-2013/AN du 02 avril 2013** portant Code de l'Environnement au Burkina Faso, visant à protéger les êtres vivants contre des atteintes nuisibles ou incommodes et des risques qui gênent et/ou qui mettent en péril leur existence du fait de la dégradation de leur environnement et à améliorer leurs conditions de vie ;
- La **loi n°040/98/ADP du 03 août 1998** portant réglementation de la collecte, transport, du traitement et de l'élimination des déchets urbains ;
- La **loi n°022-2005/AN** portant Code de l'Hygiène Publique au Burkina Faso, stipule en ses articles 04 que : « L'élimination des déchets comporte les opérations de pré-collecte, de collecte, de transport, de stockage, de traitement nécessaire à la récupération de l'énergie ou des éléments et/ou matériaux réutilisables, ainsi que la mise en décharge contrôlée, l'enfouissement ou le rejet dans le milieu naturel » ;
- La **Loi n°023/94/ADP** portant Code de la Santé Publique au Burkina Faso interdit en son article 23 le déversement ou l'enfouissement de déchets toxiques industriels ;
- Le **Décret N°2001-185/PRES/PM/MEE du 7 mai 2001** fixant les normes de rejets de polluants dans l'air, l'eau et le sol.

b) Cadre institutionnel

Le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD) ex Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie (MECV) est le garant institutionnel de la qualité de l'environnement au Burkina Faso. A ce titre, il assure la mise en œuvre et le suivi de la politique du Gouvernement en matière de protection et de préservation de l'environnement à travers la Direction générale du développement durable au ministère de l'environnement.

Bien qu'il n'y ait pas de structure formelle s'occupant du traitement et de la valorisation des D3E à Ouagadougou, il existe le Centre de Valorisation et de Traitement des Déchets (CTVD) qui s'occupe de l'enfouissement des déchets ménagers et urbains. Le CTVD est situé à une dizaine de kilomètres au Nord de la ville de Ouagadougou. Il est établi sur 70 hectares, avec une capacité de stockage de 6,1 millions de mètres cube et une durée de vie de 20 ans. Ses missions principales sont l'enfouissement des déchets solides et la valorisation des déchets organiques et plastiques.

Le CTVD accueille en plus de cela diverses activités ayant trait à la valorisation des déchets, et reste ouvert à des propositions éventuelles qui permettraient d'améliorer la gestion des déchets à Ouagadougou. Un projet portant donc sur la mise en place d'une usine de traitement des D3E serait le bienvenu dans ce cadre.

c) Etat des lieux de la gestion des D3E

En Afrique de l'ouest, les activités de gestion des D3E relèvent majoritairement du secteur informel, et sont principalement orientées autour de la collecte, du démantèlement manuel ainsi que du brûlage à l'air libre et du déversement en décharge des composantes non brûlées.

Au Burkina Faso, l'unique structure formelle du pays à s'occuper de la gestion des D3E est l'ABPEV. Depuis sa création, elle est un acteur principal de la gestion des D3E à Ouagadougou en plus des importateurs, revendeurs, réparateurs d'appareil, les consommateurs, les exportateurs.

Le système de gestion de l'association est principalement articulé autour des activités de pré collecte, de collecte, de tri, de stockage et d'exportation.

La pré-collecte s'effectue d'abord chez les fournisseurs qui regroupent à leur niveau tous les D3E qu'ils ont en leur possession. La majeure partie des déchets récupérés provient des marchés, où on retrouve de nombreux vendeurs d'appareils et pièces détachées, réparateurs, grossistes etc... certains de ces détaillants ont une organisation propre à eux en ce qui concerne le regroupement des déchets. Il existe un gérant de boutique qui est désigné comme étant celui en charge des

déchets, et c'est chez ce dernier que tous les autres laisseront leurs déchets pour qu'ils soient collectés. Chaque boutique regroupe généralement ses déchets en différentes catégories (écrans de téléphones, batteries etc...) et les amène ensuite chez le gérant en charge des déchets. D'autres préfèrent gérer eux même leurs déchets et contactent directement l'ABPEV pour que ceux-ci soient collectés à leur niveau. Les fréquences de pré collectes ne sont pas réellement définies, elles se font de manière aléatoire selon l'appréciation du fournisseur.

Aussi la fréquence de collecte en ces lieux n'est pas non plus définie, les collectes se font selon le besoin que ces fournisseurs ont de se débarrasser des déchets accumulés. Il faut préciser que la collecte de ces déchets se fait en échange d'une compensation financière donnée aux fournisseurs en fonction du poids et de la nature des déchets collectés. L'ABPEV leur achète donc les D3E. Une fois les collecteurs arrivés sur place, ils pèsent les déchets grâce à une balance avant de les stocker dans leur bac de collecte (Voir photos en annexe). Selon le poids obtenu et les types de D3E collectés, ils déterminent la somme due aux fournisseurs pour la leur verser avant d'emporter les déchets. Les tarifs des déchets sont les suivant :

- 1Kg Déchets Ordinaire = 150FCFA
- 1Kg Cartes Electroniques « PAUVRES » = 6500 CFA
- 1Kg Cartes Electroniques « MOYENNES » = 7600 FCFA
- 1Kg Cartes Electroniques « RICHES » = 12500 FCFA

Ces tarifs ont été fixés en accord entre l'ABPEV et les fournisseurs par rapport aux prix auxquels ces derniers acquièrent leurs marchandises.

Il faut ajouter que l'association reçoit aussi directement des déchets à ses locaux, certains fournisseurs ou particuliers se déplacent pour faire peser leurs déchets et récupérer leur compensation, ceux-ci généralement ne fournissent pas de grandes quantités de déchets.

Suite à la collecte, les déchets transportés à l'association sont pesés une nouvelle fois avant d'être démantelés et triés par type de composantes qui seront conditionnés dans des sacs de 20 Kg pour les plastiques et 15 Kg pour le reste (fer, écrans, cartes électroniques, câbles USB et chargeurs, téléphones entiers etc...). Ces déchets restent stockés dans les locaux de l'ABPEV jusqu'au moment de leur exportation. A ce jour, l'association a pu collecter et exporter une centaine de tonnes de déchets (Naré, 2019).

Le mode de gestion des D3E de l'ABPEV, bien qu'il soit une aide dans la gestion des e-déchets, comporte des avantages et quelques inconvénients

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

Tableau I : Avantages et inconvénients du système de gestion des D3E actuel

Avantages	Inconvénients
Systeme de collecte simple	La collecte ne couvre pas les ménages ni les entreprises
Tri de grandes quantités de déchets	Tri non poussé
Accessibilité de l'ABPEV	Pas de démantèlement complet

Le système de gestion actuel est surtout axé sur la collecte et le tri et ne comporte donc pas d'étape de traitement ou de valorisation des déchets.

En effet les techniques de traitement et de valorisation des D3E ne sont pas fortement développées en Afrique et au Burkina Faso et le traitement des D3E se fait le plus souvent de façon informelle par des réparateurs eux même. Pour les appareils entiers, ou ceux dont certaines pièces sont réutilisables, ils les démantèlent pour ensuite réutiliser les pièces en état de fonctionnement dans d'autres appareils. La majorité préfère cependant brûler ces déchets à l'air libre, créant des décharges non contrôlées.

Pourtant cela pourrait constituer un avantage si le système de gestion avait une étape de traitement de ces déchets, afin de pouvoir profiter localement des produits à obtenir. Il est nécessaire pour les valoriser de mettre en place des systèmes performants, techniquement réalisables et adaptés aux ressources du pays.

Il serait alors envisageable de mettre en place une usine capable de s'occuper de l'étape de traitement et valorisation. Grace à cela, la gestion entière de des e-déchets pourrait être prise en charge, ce qui permettrait non seulement de profiter des matières valorisables qu'il est possible d'y retrouver mais aussi de s'en débarrasser de manière plus respectueuse de l'environnement et moins dangereuse pour la santé humaine.

d) Technologies de traitement et valorisation des D3E

Les D3E étant un mélange composite de différentes matières, ils peuvent être valorisés de manières variables selon les produits que l'on veut obtenir. On y retrouve de la matière plastique, une grande variété de métaux, du verre, du céramique, etc...

De nombreuses voies de traitement et de valorisation des D3E existent et sont utilisées à travers le monde. A travers les recherches, plusieurs types de traitement et valorisation des déchets pouvant être bien adaptés aux D3E ont été identifiés. Parmi les techniques pouvant être envisagées, il peut

**Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements
Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso**

Il y a :

- **La réutilisation / le recyclage** : ce sont des techniques répandues en Afrique et au Burkina Faso qui consistent respectivement en la remise sur le marché des équipements en état de marche après réparation et de l'utilisation des composantes encore fonctionnelles de certains appareils pour les revendre ;
- **Incineration** : consiste en un traitement thermique des déchets en présence ou absence d'oxygène. La chaleur issue de ce traitement est généralement convertie en énergie électrique pour la valorisation. C'est aussi une technique répandue, mais qui est souvent pratiquée en plein air, sans mesures ni dispositifs adaptés ;
- **Valorisation mécanique** : transformation des déchets par différents procédés pour obtenir des matières brutes. Généralement ces procédés impliquent des étapes comme le broyage et font intervenir une diversité de machines, la finalité étant d'extraire les produits bruts ayant servi à la fabrication de ces déchets d'équipements. Ils peuvent aussi faire intervenir un ensemble d'autres procédés (thermiques, électriques, etc....) ;
- **Valorisation énergétique** : c'est la production d'énergie électrique à partir de la chaleur dégagée par la combustion des déchets ;
- **Récupération par voie thermique** : ce sont un ensemble de méthodes qui font intervenir des fortes températures afin de récupérer, de modifier la matière. Ils sont souvent associés à d'autres méthodes ou procédés ;
- **Extraction des métaux par procédés métallurgiques** : ces procédés sont le plus souvent utilisés dans le traitement des métaux. Ce sont des méthodes d'extraction et récupération des métaux pouvant faire intervenir des procédés thermiques et/ou chimiques. Ils sont connus dans le traitement des cartes électroniques afin d'en extraire les composantes précieuses. (Naré, 2019)

Tableau II : Technologies de traitement des déchets

Type de traitement	Type de déchet	Avantage / inconvénient
Energétique	Mieux adapté pour les plastiques car ils ont un grand pouvoir énergétique : 1Kg de plastique peut produire 277,78KWh.	Permettrait une certaine autonomie en termes d'énergie mais couteux.

**Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements
Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso**

Mécanique	Adapté à l'ensemble des déchets.	Permet d'avoir de la matière brute mais demande une longue chaîne de travail.
Procédés métallurgiques	Traitement adapté aux équipements contenant différents métaux.	Bon taux de récupération des métaux précieux mais produit des déchets chimiques.
Recyclage / réutilisation	Adapté aux équipements entiers, ou en bon état.	Donne une seconde vie aux D3E mais en faibles quantités.
Incinération	Résidus inertes, ou ne pouvant pas subir de traitement ou valorisation, déchets ultimes.	Permet de complètement se débarrasser des déchets mais peut entraîner une grande pollution.

Afin de tirer le maximum de chaque catégorie de déchet présent dans les D3E, il serait préférable d'adapter le traitement par rapport à la catégorie qui doit être traitées et au résultat final. Parmi les catégories de déchets rencontrés à l'ABPEV, il y en a deux (02) qui ont le plus retenu notre attention, car leurs proportions sont grandement supérieures à celles des autres : il s'agit des plastiques et des métaux. De nos jours de nombreux produits peuvent être fabriqués à partir de plastique et de métal recyclés, il serait alors judicieux de se pencher sur ce qu'on pourrait obtenir de leur bonne valorisation.

A l'état brut, le plastique est surtout retrouvé sous forme de coques de téléphones ou d'ordinateur et peut être divisé en deux catégories : les plastiques possédant un code d'identification et les plastiques n'en possédant pas.

Le code d'identification des résines a pour but de faciliter le tri des plastiques en identifiant les types de polymères utilisés. Il est représenté par un ruban de Mobius portant un chiffre en son centre qui représente le type du plastique. Dans ce cas, cinq polymères ont pu être identifiés : l'Acrylonitrile butadiène styrène (ABS), le Polycarbonate (PC) le Polyoxyde de Phénylène (POP), le Polystyrène (PS) et le High Intensity Polystyren ou polystyrène choc (HIPS), ainsi que deux mélanges de polymères : ABS+PC et PC+POP. Le point commun de ces différents polymères est qu'ils sont tous de type thermoplastique, c'est-à-dire qu'ils peuvent se ramollir par chauffage et durcir par refroidissement sans dégradation dans la structure du polymère.

Sur la figure 2, ils se trouvent des exemples de codes résine donnant des types de résine utilisées.



Figure 2 : Photo de coques plastiques avec code résine

Le plastique est aussi utilisé avec les métaux dans les câbles USB, écouteurs, cartes électroniques etc... car il est un bon isolant électrique.

Les plastiques peuvent être valorisés énergétiquement comme mécaniquement. Ils possèdent un grand pouvoir calorifique et pourrait donc être utile comme source d'énergie. Cependant il est connu que la valorisation énergétique peut être coûteuse, de plus, le flux entrant de déchets n'étant pas constant, la production d'énergie pourrait être problématique à certaines périodes. Ce qui laisse la valorisation mécanique comme autre bonne alternative, vu qu'elle permettrait d'obtenir de la matière plastique brute pouvant être revendue et utilisée dans la fabrication d'autres produits. C'est une méthode moins coûteuse offrant une plus grande marge de sécurité.

Concernant les métaux dans les D3E, ils peuvent être subdivisés en deux catégories : il y a les métaux retrouvés simplement sous forme brute (avec ou sans alliage) et les métaux des cartes électroniques. Ceux-ci sont travaillés de manière plus complexe, faisant que les cartes électroniques devraient avoir un traitement à part entière. Pour celles-ci les procédés métallurgiques sont les plus utilisés, notamment l'hydrométallurgie et la pyrométallurgie.

Bien que les procédés hydro et pyrométallurgiques aient tous les deux des avantages, l'hydrométallurgie est souvent préférée en industrie grâce à sa capacité de récupération des métaux d'une grande variété de sources, incluant les minerais à faible teneur, les minerais de métaux mélangés et les sources secondaires telles que les D3E. Par ailleurs, l'hydrométallurgie

permet l'utilisation de procédés à basse températures et le recyclage des réactifs (Schaeffer et al. 2018). Cependant ce procédé génère des déchets chimiques qui demanderont par la suite à être traités, ce qui pourrait amener des coûts supplémentaires. Une méthode plus simple serait le procédé mécanique de la séparation par gravimétrie. C'est une méthode avec des taux de séparation élevés, souvent utilisée dans le domaine minier, surtout en ce qui s'agit des matériaux comme l'or et l'argent.

Une fois les métaux extraits des cartes électroniques, ils pourront être traités avec le reste des éléments métalliques. Pour cela, les procédés thermiques sont les plus utilisés, avec la fonte et le coulage en barres, lingots, feuilles etc...

Au vu des paramètres cités ci-dessus, une filière générale articulée autour de la collecte, du tri et y ajouterons l'étape du traitement sera proposée. La phase de collecte continuera d'être effectuées par l'ABPEV, étant un acteur important de la gestion déjà connus des actuels fournisseurs. Aussi afin de limiter les coûts et les efforts dus au transport de ces déchets des locaux de l'association jusqu'à l'usine, il serait intéressant que les locaux de l'association soient déplacés au sein de l'usine. Ainsi, les déchets une fois collectés seront démantelés et envoyés directement aux unités de traitement. Les déchets démantelés passeront d'abord par une étape de pré-traitement visant à séparer les différentes composantes. Celles-ci seront ensuite chacune transportées vers leurs unités de traitement respectives.

A l'issue de la séparation, les composantes subiront des méthodes de traitements différentes :

- Les plastiques seront transformés via une valorisation mécanique pour obtenir des granulats ;
- Les cartes électroniques seront traitées pour en extraire les différents métaux qui rejoindront la filière de transformation des métaux ;
- Les métaux seront transformés par procédés thermiques en barres ou lingots ;
- Les déchets d'autres natures seront incinérés.

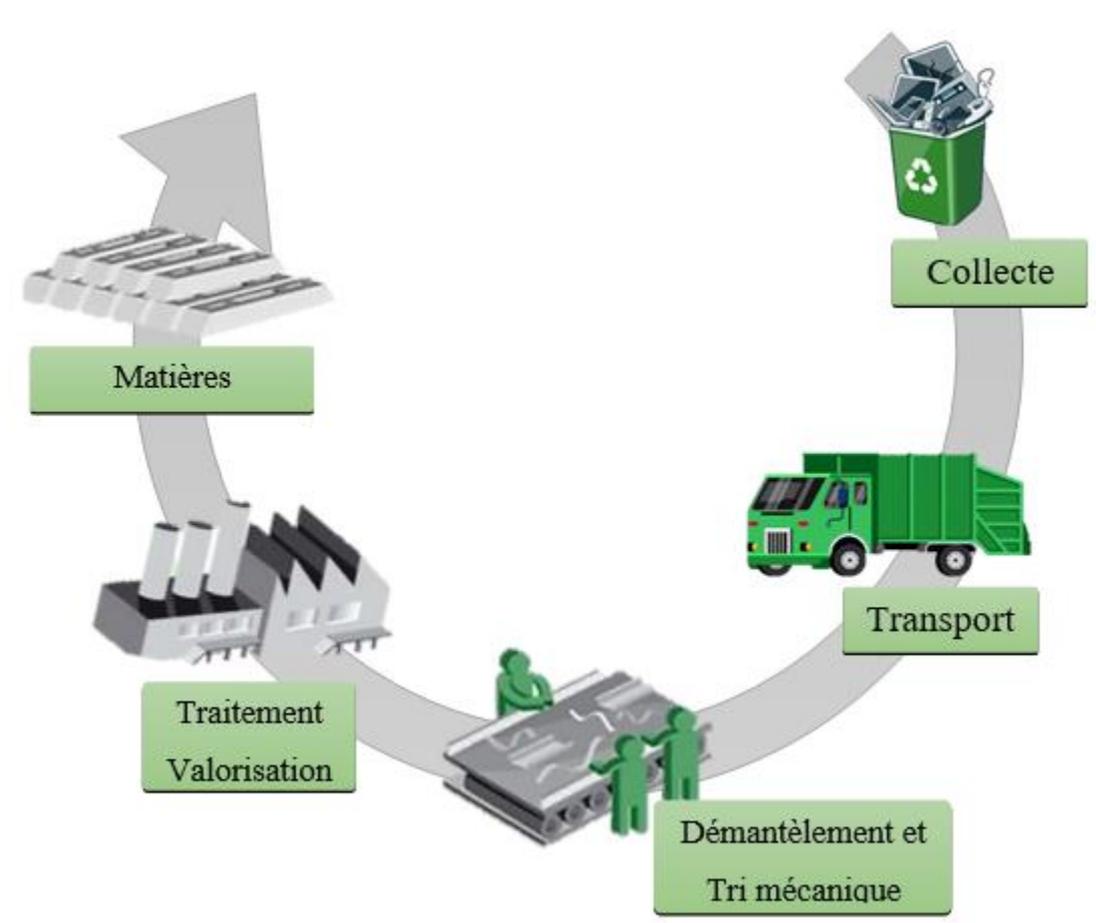


Figure 3 : Schémas logistique du système proposé

3. Données de base

Le flux entrant de D3E au Burkina Faso est de 100 tonnes (Naré, 2019). A partir des données de collectes récupérées à l'ABPEV, la quantité de D3E sur la période de 2019-2020 a pu être évaluée et s'élève à 19,27 tonnes de déchets, équivalent à 20% du flux de déchets entrant dans le pays. Ces déchets se composent de matière plastique, de fer, de cuivre, aluminium et autres métaux (dont des métaux précieux comme l'or), de verre etc...

La majeure partie de ces déchets contient de la matière plastique. Cette matière constitue environ 40,82% (Naré, 2019) de la masse totale de déchets collectés. Elle peut être retrouvée à l'état brut mais aussi mélangés à d'autres composantes pour former différents types d'appareils.

En plus du plastique, il y a aussi des métaux dans la composition des D3E. Ils constituent environ 16,6% de la masse totale de ces déchets. Une variété d'éléments métalliques allant du fer au zinc, des métaux lourds, ainsi que des métaux précieux (or, argent, palladium) est aussi retrouvée. Ces derniers sont surtout concentrés dans les circuits imprimés des cartes électroniques d'ordinateurs, télévisions et téléphones.

Les cartes électroniques sont de nature hétérogène, constituées à 40% de métaux, 30% de céramique et 30% de plastique. La raison motrice du recyclage des déchets de cartes électroniques est la récupération des métaux précieux. Celles-ci constituent 23,1% de la masse des D3E. Les concentrations en métaux précieux dans les déchets de cartes électroniques sont beaucoup plus élevées que dans les gisements naturels. Elles sont constituées à 40% de métaux, 30% de plastique et 30% de céramiques. Les métaux les plus présents sont le cuivre, qui vaut près de 70% des métaux, l'aluminium à 20% et les 10% restants se répartissent entre le fer, le zinc, le plomb et autres métaux. Ainsi, elles peuvent être vues comme un source secondaire respectable de minage urbain (Sethurajan et al. 2019).

Hormis ces deux catégories, les D3E contiennent aussi du verre à hauteur de 1,55% et des composantes comme les câbles USB, les micros et écouteurs à hauteur de 7% (Naré, 2019). Cependant, ces dernières catégories sont majoritairement composées de plastiques et de métaux, une fois décomposées, elles peuvent être insérées dans les autres catégories.

La quantité totale de D3E collectés par l'ABPEV s'élève à 19,27 tonnes et est constituée de : 2,790 tonnes de plastiques simples, 5,321 tonnes de cartes électroniques (dont 4,8 tonnes de cartes « pauvres », 367 Kg de cartes « riches »), 5,814 tonnes d'écrans (ensembles de verres, plastiques, aluminium), 2,816 tonnes de d'écouteurs, chargeurs et câbles USB (constitués en majeure partie de plastique, de cuivre et autres), 519Kg de fer etc...

Les catégories de déchets destinées à la valorisation sont principalement les plastiques à hauteur de 7,8tonnes, les cartes électroniques constituant 5,321tonnes et les métaux valant 3,198 tonnes.

Voir tableau ci-dessous, les quantités de déchets collectées par l'ABPEV durant l'année 2019.

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

Tableau III : Inventaire et calcul du gisement total collecté en 2019 (ABPEV)

DATE	POIDS EN KILOGRAMMES DES DIFFERENTES CATEGORIES DE DECHETS												Total
	PLASTIQUE	BATTERIE	CE PAUVRE	CE MOYEN	CE RICHE	ECRAN	FER	CHARGEUR	CABLE	ECOUTEUR	PORTS USB	AUTRE	
Janvier-19	679,06	257,13	1071,20			1170,78	124,26	320,66	127,20	40,78	39,92	67,82	3898,81
Février-19	390,24	131,42	807,30			515,20	67,38	219,34	83,62	23,66	112,40	39,74	2390,30
Mars-19	298,88	91,66	579,20			385,82	41,22	235,30	100,18	15,62	41,00	18,32	1807,20
Avril-19	234,80	109,30	449,00			539,86	54,70	154,76	45,74	34,08	34,00	36,26	1692,50
Mai-19	135,14	37,36	137,22	29,64	7,76	254,28	25,18	202,50	78,28	7,60	27,48	13,62	956,06
Juin-19	170,06	69,30	21,50	22,20	29,34	353,04	28,54	45,58	22,50	4,66	15,00	16,08	797,80
Juillet-19	253,02	100,70	54,18	28,68	56,82	765,10	66,30	58,58	39,00	25,42	24,18	44,14	1516,12
Août-19	172,50	63,00	24,38	5,26	31,90	375,90	37,44	379,84	151,30	13,24	23,00	63,90	1341,66
06/09/2019	40,00	24,78	14,90	3,36	10,70	205,72	9,38	3,78	8,18	2,14	4,50	7,12	334,56
Inventaire au 06/09/2019	2373,70	884,65	3158,88	89,14	136,52	4565,70	454,40	1620,34	656,00	167,20	321,48	307,00	14735,01
Total exporté le 10/09/19	2380,00	884,65	3150,00	75,00	135,00	4560,00	450,00	1620,00	660,00	165,00	315,00	0,00	14394,65
Reste en stock	6,32	0,00	6,10	13,70	1,70	1,42	2,00	8,66	3,36	10,52	8,00	307,00	368,78
Septembre-19	100,60	24,78	65,56	10,70	40,56	433,48	21,66	11,12	6,56	3,96	27,90	21,32	768,20
Octobre-19	200,38	89,20	266,44	26,26	92,68	499,24	31,34	187,28	87,10	10,22	93,74	67,09	1650,97
Novembre-19	103,44	39,52	112,66	6,22	33,64	320,20	14,36	26,46	15,00	1,30	71,06	22,06	765,92
Décembre-19	0,00	0,00	1206,02	14,72	64,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	63,56	0,00	1348,66
Inventaire au 31/12/19	2790,74	1038,15	4806,78	146,60	367,94	5814,34	519,36	1853,52	772,02	191,00	579,26	417,47	19297,18

IV. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

Afin de mener à bien cette étude, nous avons établi une méthodologie de travail permettant de rassembler les données de base nécessaires. Celle-ci a principalement été axée autour de la recherche bibliographique, du suivi des activités de l'ABPEV ainsi de que l'analyse de données et des consultations web.

Recherche documentaire

La première phase de la méthodologie a consisté en l'étude des données existantes sur les D3E et leur gestion à Ouagadougou. Il aura fallu parcourir les études précédentes qui ont été menées en collaboration avec l'ABPEV, principalement celle portant sur la caractérisation des D3E. Avec cela, une recherche documentaire a été nécessaire, elle a eu pour objectif de s'enquérir des technologies et processus connus dans le domaine de la valorisation des déchets pour nous guider dans la mise en place de traitements adaptés au contexte burkinabé. Les textes règlementaires burkinabés (lois, décrets...) portant sur la gestion des déchets, l'hygiène et la santé publique ont été aussi analysés afin de relever des éléments en rapport avec les D3E pour mieux situer notre étude dans la réglementation.

Suivi des activités de l'ABPEV et analyse de données

Il a été nécessaire de faire un suivi des activités de l'ABPEV, permettant de dresser l'état des lieux actuel de la gestion des D3E, et ainsi de décrire ses avantages et inconvénients. Ce suivi a principalement constitué de :

- sorties de collectes avec les agents de l'association ;
- tri des déchets aux locaux de l'association ;
- analyse des données de gestion de l'association.

Les sorties de collecte ont permis de rencontrer différents acteurs (les fournisseurs principalement) de la gestion des D3E ainsi que d'identifier le rayon d'action de l'association. L'analyse des données inventoriées de l'ABPEV aura permis d'évaluer le gisement total des déchets disponibles à l'association et ceux des différentes matières valorisables. Les données principalement étudiées portent sur les activités de l'année 2019 et sur les deux études

antérieures à ce travail et auront permis d'avoir une estimation annuelle des quantités de D3E collectées et les informations sur les gisements et les compositions des D3E.

Choix de la technologie

Plusieurs moyens ont été explorés afin de déterminer les technologies à mettre en place dans le cadre de notre étude. Premièrement il aura fallu s'aider de la recherche documentaire pour mieux appréhender certains modes de traitement et ainsi évaluer les solutions qui pourraient être réalisables. Ensuite des recherches en ligne ont été effectuées. Cette démarche a consisté à se rapprocher de sites internet de constructeurs et fournisseurs proposant du matériel industriel pour consultation, afin d'obtenir des propositions de machines et appareils pouvant permettre de réaliser le traitement à mettre en place. De nombreuses solutions techniques qui pourraient être applicables ont été explorées et les machines ont été retenues en fonction des besoins et des coûts.

V. ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE

1. Introduction

Le but de ce travail est d'étudier la faisabilité de la mise en place d'une usine traitant les D3E, pouvant aboutir à un projet de mise en place de l'usine. Le gisement à notre disposition étant de 19,27 tonnes de D3E. A la suite des consultations qui ont été effectuées en ligne, différentes technologies ont été choisies à mettre en place pour le traitement des déchets. Les capacités de traitement des machines se situent entre 500 et 1000 kg par heure, laissant la possibilité de traiter jusqu'à 08 tonnes de déchets par jour, ce qui correspond environ à 41% du gisement total. En optimisant la collecte, nous pourrions vite atteindre le gisement disponible de 100 tonnes, et aussi envisager d'étendre le champ d'action de l'usine aux autres pays de la sous-région.

Cette étude technique abordera d'abord la présentation des différentes solutions retenues pour le traitement des D3E ainsi que les dispositifs techniques les accompagnant, nous détaillerons ensuite les caractéristiques de l'usine à mettre en place ainsi que son organisation, nous évaluerons les besoins en eau et électricité et terminerons par le choix du site d'implantation de l'usine.

2. Prétraitement

L'étape de prétraitement constituera en la séparation des déchets par tri mécanique. Le tri mécanique est une méthode permettant l'extraction de matériaux d'un mélange de déchets à partir de leurs caractéristiques physiques, mécaniques voire chimiques. Dans l'extraction des métaux et des plastiques on rencontre généralement 03 étapes :

- passage au broyeur : permet de déchiqueter en morceaux les déchets ;
- passage au tamis fin (éventuellement) : cette étape permet la séparation des produits lourds des autres matières qui sont généralement redirigées vers la valorisation énergétique ou l'enfouissement ;
- tri magnétique / gravimétrique / électrostatique : permet la séparation plus poussée des matières.

Pour le prétraitement, un broyage sera effectué, suivi d'une double séparation : électrostatique et gravimétrique afin d'avoir de meilleurs résultats. La quantité de départ correspondra au gisement exploitable qui est de 19,27 tonnes par an.

Les cartes électroniques ne passeront pas par cette étape et seront directement envoyées vers une autre ligne de séparation.

Le processus suivant sera mis en place pour le prétraitement :

Le broyage : le broyeur est muni de lames rotatives permettant de réduire les déchets en de petites particules. Les déchets sont déversés à son entrée puis réduits en morceaux qui seront recueillis à la sortie dans un bac et transportés vers les séparateurs.

La séparation électrostatique : c'est un procédé qui utilise les charges électrostatiques (force d'attraction, force de répulsion) pour séparer des particules broyées. Généralement ces charges sont utilisées pour attirer ou repousser des matériaux de charges différentes. Lorsqu'on utilise la force d'attraction, les particules conductrices se collent à un objet ayant une charge opposée, dans notre cas il s'agit d'un tambour métallique placé dans le séparateur, les séparant ainsi des autres particules. Lorsqu'elle utilise la force de répulsion, elle permet de changer la trajectoire des objets qui tombent pour les séparer en des endroits différents. Ainsi selon que l'on utilise la force d'attraction ou de répulsion, les particules de plastique et de métaux prendront des trajectoires différentes et seront séparés.

La séparation par tables vibrantes : c'est un dispositif permettant de séparer des particules de différentes natures selon leur densité. Le principe de fonctionnement est d'utiliser les actions combinées de la différence de densité des composés, du mouvement de la surface de la table et d'un flux d'eau s'écoulant à l'oblique pour permettre un alignement des éléments à la surface. Les éléments de même nature s'aligneront donc pour s'écouler ensemble. Ainsi, cette méthode de séparation sera utilisée pour séparer d'une part les particules non métalliques des particules métalliques et de l'autre pour séparer les métaux selon leurs natures. Les différents déchets séparés selon leur nature pourront donc être envoyés à des filières différentes pour traitement.

La séparation par tri mécanique se fait avec un taux de récupération entre 95 et 98 %, les pertes représentant généralement les sables et certains déchets non valorisables.

Tableau IV : Choix de matériel pour le prétraitement

Nom	Fabriquant	Modèle	Capacité de traitement (kg/h)	Taux de récupération	Puissance moteur (KW)	Durée de vie (années)	Prix (US Dollar)
Broyeur	Henan Wanbang Machinery Manufaturing Co. Ltd	WB400S - 2	500 - 1000	100%	22	8	4200 USD
Séparateur électrostatique haute tension	Henan Doing Mechanical Equipment CO. Ltd	DY - 1500	100 - 500	99,9%	4,5	5	15000 USD
Table vibrante	XKJ Mining Machinery Manufactory	XKJ 6 – s 3000		98%	1,1	12	2000 USD

(Voir photo des machines en annexe)

3. Valorisation mécanique des plastiques

- Paramètres techniques

Les quantités de plastiques collectées durant l'année 2019 à l'ABPEV s'élèvent à 2,790 tonnes pour les plastiques bruts, non mélangés à d'autres composantes. En se basant sur la précédente étude sur la caractérisation des D3E, le pourcentage de plastiques dans ces déchets est de 40 %, soit 7,708 tonnes en appliquant le pourcentage à nos 19,27 tonnes, après démantèlement des différentes catégories contenant les éléments plastiques (Naré, 2019). Cette masse constituera la quantité entrante à traiter.

- Matériel et processus

Le traitement mécanique des plastiques consistera en leur transformation en granulats. Ils passeront par une ligne de traitement comprenant un bac de lavage, une centrifugeuse, un malaxeur, une extrudeuse, un bac de refroidissement et une coupe permettant la formation des

granulats. La ligne de traitement du plastique est une chaîne continue, ainsi les matières plastiques de base entrent en début et ressortent à la fin sous forme de granulés.

La transformation des plastiques se fait par étapes à l'intérieur des différentes machines :

Lavage : après l'étape du prétraitement, les plastiques sont transportés dans des bacs et déversés à l'entrée de la ligne de traitement où ils subiront d'abord un lavage pour les débarrasser des produits chimiques et impuretés. Le lavage peut soit se faire à l'eau ou à l'aide d'autres produits chimiques pour enlever les peintures et autres.

Séchage : les plastiques une fois lavés passent par la centrifugeuse afin de les sécher.

Malaxage : une fois sèches, les particules de plastique continuent vers un contenant thermorégulé muni de pales rotatives à l'intérieur duquel elles seront mélangées à température constante jusqu'à obtenir une pâte homogène. Cette pâte de plastique passera ensuite à travers un filtre pour assurer d'une bonne pureté et sera envoyée à l'extrudeuse.

Extrusion : c'est un procédé de transformation en continu au cours duquel la matière plastique entre dans un tube chauffé muni d'une vis rotative. Le mouvement de rotation de la vis additionné à la température du tube va permettre de faire fondre la matière plastique. Ainsi la pâte homogène sortie du malaxeur devient très molle, est poussée, et passe à travers un second filtre avant d'être envoyée à la granulation.

Refroidissement et granulation : le plastique sort de la tête de l'extrudeuse sous la forme d'un filament puis passe à travers un bac rempli d'eau pour être refroidi au contact de l'eau. Les fils passent par la dernière composante où ils sont coupés par une lame rotative pour obtenir un granulat plastique.

Les pertes de matière sont le plus observées lors de la phase de lavage/séchage car le plastique est débarrassé des impuretés. La chaîne de granulation étant fermée et continue, les pertes lors des autres étapes sont négligeables. Il est donc possible d'obtenir des taux de récupération proche de 98%. Appliqué au gisement, une masse de granulats de plastique autour 7,750 tonnes est obtenue après traitement.

Tableau V : Choix de matériel pour le traitement du plastique

Nom	Fabriquant	Modèle	Capacité de traitement (kg/h)	Taux de récupération	Puissance Moteur (KW)	Durée de vie (années)	Prix (US Dollar)
Ligne de granulation du plastique	RFD Mechanical Equipment Co. Ltd	RFD125 Recycling line	180	98%	71	6	51000 USD

(Voir photo en annexe)

4. Récupération des métaux dans les cartes électroniques

- Paramètres techniques

Une carte électronique est un support, en général une plaque, permettant de maintenir et de relier électriquement un ensemble de composants électroniques entre eux, dans le but de réaliser un circuit électronique complexe.



Figure 4 : Présentation d'une carte électronique

La quantité totale de cartes électroniques qu'on retrouve dans nos D3E est de 5,321 tonnes. Cette quantité se répartit entre 3 classes : les cartes électroniques « pauvres » qui en constituent 90%, les cartes électroniques « moyennes » 2% et les cartes électroniques dites « riches » qui en font 6%. Cette classification se fait par rapport au nombre de 'microprocesseurs' qu'elle contient. Plus une carte doit comprendre de 'microprocesseurs'

plus elle a de circuits imprimés et plus elle est riche en métaux précieux car ceux-ci sont utilisés dans les circuits imprimés.

Les cartes électroniques sont constituées à 40 % de métaux représentant ici 2,09 tonnes, les plastiques représentant 30 % de leur composition s'élèveront à une masse de 1,596 tonnes de même que les céramiques. Les plastiques issus des cartes électroniques seront dirigés vers la filière de granulation.

- Matériel et processus

L'étape préalable à la séparation par gravimétrie est un broyage des cartes ainsi que la séparation entre les métaux et les autres composantes. Cette étape préalable se fera à l'aide d'une ligne de séparation conçue pour les déchets de cartes électroniques et qui comporte plusieurs composantes.

La première de ces composantes est le système de broyage. Ce système est composé d'un déchiqueteur, d'une machine pour écraser et d'un broyeur. La différence entre ces trois machines se résume principalement au nombre de lames et la finesse du broyat obtenu. Le déchiqueteur réduit les cartes en de gros morceaux, tandis qu'ils sont réduits en plus petites particules dans l'écraseur et sont réduits en très fines particules (moins de 1 micromètre) dans le broyeur. Les cartes électroniques passent ainsi par les deux premières unités assurer l'uniformité des particules et par la dernière pour obtenir un broyage fin. De plus le broyeur est équipé d'un système d'aération permettant d'éviter la dispersion de poussières dans l'air environnant.

Il y a ensuite le système de séparation composé d'un séparateur à air (assurant une séparation jusqu'à 97%) et d'un séparateur électrostatique, permettant la séparation des composantes métalliques et des composantes non métalliques des cartes électroniques. Enfin il y a un système de collecte des poussières et impuretés d'une efficacité allant jusqu'à 99% assurant une bonne pureté des broyats en sortie.

A la sortie des séparateurs les produits obtenus sont de la poudre de métaux, de la poudre de résine et de la poudre de céramique. La poudre de métaux sera envoyée au niveau d'une table vibrante afin que les métaux soient séparés par gravitation tandis que la poudre de résine

rejoindra la filière de transformation des plastiques et que la poudre de céramique sera incinérée avec le reste des déchets.

Le principe de fonctionnement des tables vibrante est le même que celui détaillé dans le prétraitement. Les tables vibrantes sont très efficaces dans les procédés de séparation des métaux, métaux rares et précieux, cela à condition que les particules à séparer soient d'une très fine taille, presque à l'étape de poussière, d'où la nécessité d'un broyage préalable. Ce sont des machines très utilisées dans la séparation de l'or, l'argent, le fer, le chrome, le zinc, le cuivre etc... les taux de récupération vont à 98% pour chaque type de métal.

Tableau VI : Choix de matériel pour le traitement des cartes électroniques

Nom	Fabriquant	Modèle	Capacité de traitement (kg/h)	Taux de récupération	Puissance moteur (KW)	Durée de vie (années)	Prix (US Dollar)
Ligne de séparation des CI	SUNY GROUP	ZYPCB - 300	500 - 800	99%	102	9	50000 USD
Table vibrante	XKJ Mining Machinery Manufactory	XKJ 6 – s 4500		98%	1,1	12	2000 USD

(Voir photos en annexe)

5. Raffinage et transformation des métaux

- Paramètres techniques

Les éléments métalliques récupérés durant le tri et à la suite de la récupération des métaux dans les cartes électroniques doivent passer par une étape de raffinage et transformation afin de pouvoir être remis sur le marché. La quantité totale de métaux contenue dans nos D3E équivaut à 16,6% de l'ensemble, soit 3,198 tonnes. Cette quantité totale se répartie principalement entre le fer, le cuivre, l'aluminium. Nous avons déterminé plus haut la quantité

de métal dans les CE qui est de 2,09 tonnes, divisée principalement entre le cuivre, l'aluminium, le plomb et les métaux précieux que sont l'or, l'argent et le palladium.

- Matériel et processus

Les métaux non ferreux issus du tri mécanique sont triés une seconde fois afin d'affiner la séparation. Pour cela ils passent par un séparateur magnétique de métaux. Le séparateur magnétique est muni d'un déversoir débouchant sur un convoyeur à bande muni d'une poulie magnétique (avec aimants). Les métaux récupérés du prétraitement sont déversés à l'entrée de la machine et transportés par le convoyeur muni de la poulie magnétique afin de séparer les particules de fer qui pourraient toujours y être mélangées. Arrivées au niveau de la poulie, les particules de fer sont attirées par l'aimant, s'enroulent autour de la poulie et sont entraînés au-dessous du convoyeur où elles tombent par gravité dans un bac pendant que le reste des déchets suit une courbe naturelle. Il y a ainsi une bonne séparation des particules de fer. Le reste des métaux est récupéré dans un bac et passé une seconde fois sur table vibrante afin de les séparer selon leur nature. Une fois les métaux extraits des cartes électroniques, ils sont regroupés selon la nature avec les autres types de métaux afin d'être transformés.

Le processus de raffinage et de transformation des métaux est le suivant : les plus grosses particules sont une nouvelle fois broyées, laminées et lavées ; chaque type de métal est ensuite fondu et purifié puis moulés sous forme de lingots, de bobines ou de barres, principalement de 1Kg, qui pourront être mis sur le marché ou utilisés dans la création de nouveaux produits. Les taux de récupération des métaux tournent autour de 98%, avec une pureté proche de 99%.

N'ayant pas de données exactes sur la répartition en pourcentages de chaque type de métal dans l'ensemble des métaux, une estimation a été faite en se basant sur plusieurs hypothèses :

- le fer est retrouvé en plus grande proportion dans les métaux, suivi de l'aluminium ;
- des métaux issus des D3E, le cuivre est celui retrouvé en grande quantité, suivi de près par l'aluminium ;
- les métaux tels que le zinc, le nickel, le plomb et autres métaux lourds sont retrouvés en quantités moins significatives que les autres.

Des pourcentages arbitraires ont été établis sur la base de ces hypothèses afin d'avoir une idée globale des quantités de métaux. Des 3,198 tonnes, nous avons attribué 40% au fer (soit 1,27

tonnes), 20% à l'aluminium (soit 0.63 tonnes), 15% au cuivre (soit 0,47 tonnes) et le reste sera réparti entre le zinc, le plomb et les autres. De ceux issus des CE, nous avons attribué 30% au cuivre (0,627 tonnes), 20% à l'aluminium (0,418 tonnes), 10% au fer (0,209tonnes). Pour ce qui est des métaux précieux, il peut y avoir des quantités de 67,7g d'argent; 11,2g d'or et 4,4g de palladium par tonne de D3E (Chancerel et al. 2009). Il est possible avec cela estimer les possibles quantités de métaux précieux que l'usine serait capable de produire. Des quantités de 1304g d'argent, 215,824g d'or et 84,788g de palladium par an sont obtenues pour 19,27tonnes de D3E.

Tableau VII : Choix du matériel pour le traitement des métaux

Nom	Fabriquant	Modèle	Capacité de traitement (kg/h)	Taux de récupération	Puissance moteur (KW)	Durée de vie (années)	Prix (US Dollar)
Séparateur magnétique de métaux	JPC Mining Machinery Manufactory	HYF - 1060	200 - 1000	98%	0.37	9	6000 USD
Table vibrante	XKJ Mining Machinery Manufactory	XKJ 6 – s 3000		98%	1,1	12	2000 USD
Four à fusion	Hongteng Electrical Equipment Co. Ltd	GW – A - 150	150	92%	80	6	7200 USD

(Voir photo en annexe)

6. Incinération

- Paramètres techniques

A la suite du tri mécanique, les déchets hors plastiques et métaux seront dirigés vers un incinérateur pour être complètement éliminés. Ces déchets sont constitués principalement de verre, céramique, et autres. Dans les différentes catégories étudiées à l'ABPEV, la catégorie « autre » correspond à environ 418 Kg de déchets.

- Matériel et processus

L'incinération consiste en la combustion (avec température variant selon la nature du déchet) et un traitement des fumées. De cette technique résultent trois catégories de résidus : mâchefers, cendres et résidus d'épuration des fumées. La chaleur générée par l'incinération fait l'objet de valorisation énergétique (production d'électricité et de chaleur) dans la plupart des unités utilisant ce procédé.

Elle consiste en une décomposition de la matière avec cinq types d'émissions :

- l'eau ;
- les gaz: CO, CO₂, NO_x, SO₂, HCl;
- de la poussière minérale (cendres) ;
- des métaux lourds : plomb, cuivre, mercure, cadmium, nickel, arsenic ;
- des molécules organiques : carbone, composés organiques chlorés (dioxines et furannes, ...).

Un incinérateur avec les caractéristiques suivantes a été choisi pour ce procédé :

Tableau VIII : Choix de matériel pour l'incinération

Nom	Modèle	Fabriquant	Capacité de traitement (kg/h)	Température de combustion	Puissance moteur (KW)	Durée de vie (années)	Prix (US Dollar)
Incinérateur	SSF - 7	Songji Machinery Factory	50	Entre 600 et 900°	5,5 (diésel)	5	7600 USD

(Voir photo en annexe)

7. Choix et Aménagement du site

a) Transport et infrastructures

L'acheminement des déchets à l'usine se fera par les collecteurs de l'association à l'aide de moto équipées de coffre de transport pour les déchets.

L'usine devra être constituée de plusieurs bâtiments pour la gestion, le traitement et toutes les activités annexes qui permettront de gérer le traitement des D3E. Elle aura comme infrastructures :

- un bâtiment administratif constitué de bureaux pour la gestion ;
 - Direction de l'usine
 - Secrétariat de direction
 - Comptabilité
 - Ressources humaines
 - Toilettes
- deux espaces de stockages fermés, dont un sera utilisé pour stocker les produits sortants et l'autre pour entreposer les divers ;
- un espace de stockage pour les déchets collectés qui sera aménagé avec un atelier de démantèlement ;
- une salle aérée pour l'installation des machines et équipements pour le traitement et la valorisation
 - Atelier de tri mécanique
 - Atelier de granulation du plastique
 - Atelier pour le traitement des cartes électroniques
 - Atelier de métallurgie pour la transformation des métaux
- un parking pour les motocyclettes de collecte ;
- un parking pour le personnel ;
- un espace de lavage des motocyclettes de collecte ;
- un pont bascule à l'entrée de l'usine ;
- un espace vert.

En ce qui concerne les différentes surfaces des infrastructures :

Il a été évalué la surface de la salle destinée à l'installation des machines et au traitement à partir des dimensions de nos machines. Ces dimensions ont servi à calculer la surface nécessaire pour l'installation des machines.

Les résultats sont consignés dans le tableau.

Tableau IX : Dimensions des équipements de traitement

Nom	Dimensions (L*I*H)	Aire requise (m ²)
Ligne de granulation du plastique	26*2,5*2,3	65
Séparateur électrostatique haute tension	2,3*1,35*3,5	3,105
Broyeur	1,8*1,5*1,6	2,7
Séparateur magnétique de métaux	Dimensions détaillées non renseignées	3
Table vibrante (x3)	3*1,62*1,1	4,86
Ligne de séparation des CI	20*5*5	100
Four à fusion (x3)	0,6*0,4*0,8	0,24
Incinérateur	Dimensions détaillées non renseignées	25
Total		214,105

Une surface totale de 214,105m² est donc requise pour l'installation des équipements de traitement. Afin que la salle de traitement soit bien aérée et qu'il y ait assez d'espace de circulation, il a été fixé que la surface totale de la salle serait égale à deux fois celle requise pour les machines. Ce qui mène à une surface totale de la salle aérée égale à 430 m².

Les différentes infrastructures de l'usine seront disposées comme dans le plan :

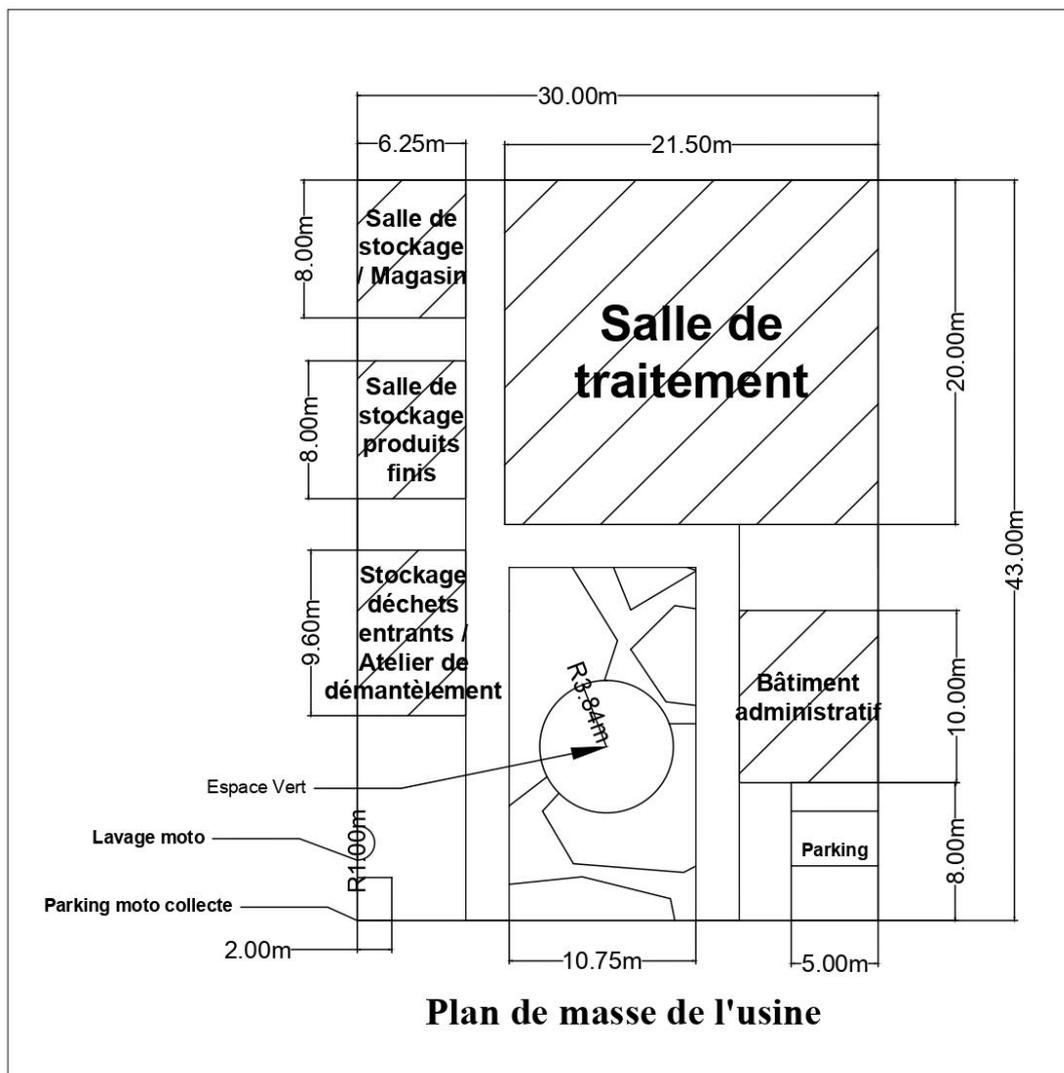


Figure 5 : Plan de masse de l'usine

Concernant les dimensions du bâtiment administratif et des espaces de stockages, ils ont été choisis de rapports et autres études menées dans le domaine du BTP. A l'issue des calculs, la surface totale nécessaire à l'installation du site est égale à 1290m². A partir de cela des plans d'aménagements des principales infrastructures ont été réalisés. (Voir plans d'aménagement en annexe)

b) Personnel de l'usine

Dans cette section les besoins en personnel sont détaillés, d'abord pour la partie du traitement et ensuite pour la gestion administrative.

L'usine de traitement étant divisée en plusieurs ateliers selon les catégories de déchets à traiter, le personnel nécessaire pour chaque atelier sera :

- au niveau du démantèlement : 03 techniciens chargés du démantèlement des déchets arrivants et de leur transport vers l'unité de prétraitement ;
- au niveau du prétraitement : 03 techniciens chargés de transporter les déchets d'une machine à une autre ;
- pour le traitement des plastiques : 03 techniciens chargés de superviser l'unité de traitement et d'y introduire les plastiques ;
- pour le traitement des cartes électroniques : 04 techniciens dont un chargé de superviser l'étape de broyage et l'autre l'étape de séparation, ce sont aussi eux qui assureront le déplacement des broyats d'une étape à l'autre ;
- pour la fonte des métaux : 03 techniciens qui superviseront la fusion et le coulage des différents métaux ;
- enfin il faudra deux techniciens pour superviser l'incinération des déchets ;

Il y aura besoin en plus des ouvriers :

- deux contrôleurs de travaux, pour s'assurer que les différentes tâches sont bien effectuées ;
- des collecteurs, chargés de la collecte et de l'acheminement des déchets à l'usine ;
- deux responsables logistiques pour gérer les flux des déchets à l'intérieur et à l'extérieur de l'usine ;
- 04 techniciens en électricité pour s'assurer du bon fonctionnement des machines et leur maintenance.

Concernant l'équipe de gestion, elle sera composée :

- d'un directeur général ;
- un directeur technique, qui s'occupera des questions relatives au traitement ;
- un directeur des ressources humaines pour la gestion du personnel ;
- un comptable pour s'occuper des finances ;
- un responsable santé sécurité ;
- deux secrétaires de direction comme aide à la gestion ;
- des techniciens de surface ;
- un magasinier / gestionnaire des stocks, chargé de contrôler et gérer les stocks de déchets entrants et de produits sortants ;
- des gardiens.

Tableau X : Liste du personnel nécessaire

Personnel	Nombre
Directeur général	01
Directeur technique	01
Directeur des ressources humaines	01
Secrétaire de direction	02
Chef comptable	01
Responsable SST	02
Responsable logistique	02
Contrôleur des travaux	02
Ouvriers	20
Collecteurs	02
Technicien en électricité	04
Techniciens de surface	06
Magasinier / gestionnaire des stocks	01
Gardiens	02

c) Energie et eau

Sources d'alimentation

La source d'énergie qui alimentera l'usine sera principalement la Société Nationale Burkinabé d'Electricité (SONABEL). L'usine pourra aussi acquérir un groupe électrogène pour pallier aux pannes d'électricité potentielles.

L'alimentation en eau se fera par raccordement au réseau d'eau de l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA).

Consommation d'énergie

- Machines et équipements de l'usine

La consommation totale en énergie de l'usine a été estimée à partir de la puissance de chaque machine et du temps de fonctionnement. Les hypothèses de bases sont les suivantes :

- L'usine fonctionnerait 8h par jour, de 8h à 16h. La plage horaire maximale d'une machine serait donc de 8h ;

- Le flux de déchet pouvant varier d'une période à une autre, les quantités à traiter ne seront pas les mêmes, pouvant être plus ou moins élevées ;
- Toutes les machines ne fonctionneront pas obligatoirement au même moment ;
- Certaines machines ne seront mises en marche que durant de petites périodes selon les quantités de déchets présentes et les besoins de traitement.

Le temps de fonctionnement des machines sera pour la première année 8h par jour.

Sur cette base l'énergie consommée a été calculée à partir de la formule :

$$E = P \times t$$

Avec P la puissance de la machine en KW et t le temps de fonctionnement en Heure.

- Bâtiments administratifs

La consommation se répartit ici entre l'éclairage, l'aération (ventilation, climatisation) et les équipements informatiques. N'ayant pas les surfaces exactes des bâtiments à alimenter et les consommations de chacun de ces appareils pour effectuer un bilan énergétique complet, il a fallu la consommation des bâtiments administratifs de deux manières. Nous avons d'abord estimé la consommation des équipement informatiques et de l'aération à 30% de la consommation des machines de l'usine, et à partir d'une formule empirique nous avons estimé la consommation pour l'éclairage. L'évaluation de l'énergie consommée a été faite à partir de la formule :

$$E = 2,8 \times S$$

Avec S la surface totale à éclairer en m² et E l'énergie en KWh

Ces deux consommations ont ensuite été additionnées.

Les résultats des calculs sont dans le tableau ci-dessous.

**Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements
Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso**

Tableau XI : Estimation de la consommation en énergie

Equipements	Nombre	Temps de fonctionnement (h)	Puissance consommée	Energie consommée
			(kW)	(kWh)
Machines				
Ligne de séparation des CI	1	4	102,00	408
Séparateur magnétique pour métaux	1	4	0,37	1,48
Ligne de granulation plastiques	1	4	71,00	284
Fours de fusion	2	4	80,00	640
Séparateur électrostatique haute tension	1	4	4,50	18
Broyeur	2	4	22,00	176
Tables vibrantes	2	4	1,10	8,8
Incinérateur	1	4	5,50	22
Sous-total 1			286,47	1558,28
Bâtiments administratifs et autres infrastructures				
Eclairage	1			4,2
Aération et équipements informatiques	1		0,86	4,67
Sous-total 2			0,86	8,87
Total journalier			287,33	1567,15
Total mensuel			8619,88	47014,65
Total annuel			103438,59	564175,74

Consommation en eau

La consommation en eau de l'usine a été à partir des valeurs de consommation spécifique en rigueur au Burkina, du nombre d'employés de l'usine et des besoins en eau de certaines machines de traitement. La consommation spécifique par habitant en milieu urbain est de 45L/Pers./Jour selon le PN AEP 2016-2030. Avec un nombre total d'employés égal à 45, nous pouvons estimer un besoin journalier de base.

Le besoin en eau annexes (lavage, nettoyage etc...) seront estimés à 15% du besoin journalier humain.

Les machines consommant de l'eau sont essentiellement les tables vibrantes. Il y a deux modèles des tables vibrantes dont l'un a besoin de débit volumique d'eau variant entre 0,3 et 1,5 m³/h et l'autre 0,4 et 0,7 m³/h.

Les différents calculs se trouvent dans le tableau suivant :

Tableau XII : Estimation de la consommation en eau

Catégorie	Consommation de base	Nombre de personnes	Besoin journalier (m ³ /j)	Besoin mensuel (m ³)	Besoin annuel (m ³)
Personnel	45	45	2,03	60,75	729,00
Machines	2,2		52,80	1584,00	19008,00
Annexes	15		0,30	9,11	109,35
Total			55,13	1653,86	19846,35

Choix du site d'implantation

Le site le mieux indiqué pour accueillir cette usine serait le CTVD de Ouagadougou. Doté d'un espace large situé à une périphérie de la ville, il apparaît comme un bon choix de site pour l'implantation de l'usine. De plus, il a été mentionné plus haut que CTVD encourage les initiatives visant à améliorer la gestion des déchets à Ouagadougou, un projet de mise en place d'une usine traitant des déchets aurait donc une bonne place dans un tel cadre.

8. Conclusion

Afin de traiter une quantité de 19,27 tonnes de D3E, un système de traitement comprenant plusieurs étapes a été choisi. La première est un prétraitement consistant en une séparation des déchets par tri mécanique, visant à récupérer les catégories de déchets à traiter. Suivant cette étape de tri, on obtient une séparation des plastiques, métaux tandis que les cartes électroniques sont mises à part dès leur arrivée à l'usine. Les plastiques sont envoyés à leur unité de traitement où ils subiront un traitement mécanique pour obtenir des granulats de plastiques. Des cartes électroniques sont extraites les métaux à partir d'un traitement mécanique, ces métaux rejoindront ensuite le reste des éléments métalliques sortant du prétraitement pour être transformés par procédé thermique, purifié et coulés en lingots ou barres. Les catégories de déchets qui ne seront pas traités seront dirigées vers un incinérateur. Les machines retenues peuvent traiter des quantités allant jusqu'à 8 tonnes par jour avec des taux de récupération variant entre 96 et 99% et des taux de pureté des produits allant jusqu'à 99%. Après traitement une quantité de granulats de plastiques d'environ 9,146 tonnes est obtenue, les métaux sont à hauteur de 1,171 tonnes pour le fer, 1,065 tonnes pour

l'aluminium, les quantités de cuivre sont de 1,278 tonnes. Pour ce qui est des métaux précieux, ils sont à 215,82g pour l'or, 1,304Kg pour l'argent et 84,79g pour le palladium. Le site choisi pour l'implantation de l'usine est le CTVD à Ouagadougou et elle aura une superficie totale de 1290m².

VI. ETUDE FINANCIERE – :

1. Introduction

A la suite de l'étude technique qui a été menée, une étude des coûts engendrés par le projet de mise de place de l'usine de traitement des D3E se voit nécessaire afin d'évaluer les montants prévisionnels que la mise en place de cette usine pourrait générer.

Plusieurs hypothèses et paramètres ont été pris en compte lors de cette évaluation. Les évaluations ont été faites sur une durée d'exploitation de 20 ans, car les quantités de déchets à traiter durant les premières années sont très faible comparativement au gisement disponible et aux capacités de traitement des machines. Ayant estimé les quantités de déchets pouvant être traités années par années, il a été décider de fixer notre période de calcul sur 10 années.

Les différents tableaux donneront les résultats de la première année d'exploitation, ainsi que ceux de la 5^{ième} à la 10^{ième} année.

2. Détermination et des paramètres financiers

Plusieurs paramètres ont été pris en compte dans la réalisation de l'estimation financière. Les paramètres qui ont été évalués sont :

- Le coût d'investissement
- Les charges d'exploitation
- Les amortissements
- Le chiffre d'affaire
- La rentabilité de l'usine

Il aura fallu récolter différentes données afin de mener à bien ces estimations.

La période des estimations ayant été fixée à 10 ans, les quantités de déchets valorisés sur ces périodes ont été évalués sur la base d'une augmentation annuelle de 80 % en considérant l'optimisation des collectes. Les résultats sont dans le tableau :

Tableau XIII : Estimation des quantités de déchets collectés sur 20 ans

Désignation	AN 1	AN 5	AN 6	AN 7	AN 8	AN 9	AN 10
Granulats de plastique	9146,00	96 011,05	172 819,89	311 075,80	559 936,44	1 007 885,59	1 814 194,07
Fer	1171,00	12 292,69	22 126,84	39 828,31	71 690,97	129 043,74	232 278,73
Cuivre	1278,60	13 422,23	24 160,02	43 488,03	78 278,45	140 901,22	253 622,19
Aluminium	1065,20	11 182,04	20 127,68	36 229,82	65 213,68	117 384,62	211 292,32
Qté totale (Kg)	12 661	132 908	239 234	430 622	775 120	1 395 215	2 511 387
Or	0,22	2,26	4,06	7,31	13,16	23,69	42,65
Argent	1,30	13,69	24,64	44,35	79,83	143,70	258,66
Palladium	0,08	0,88	1,59	2,86	5,14	9,26	16,66
Qté totale (g)	1,60	16,83	30,29	54,52	98,14	176,65	317,97

Le coût d'investissement

Il s'agit des couts engendrés par l'achat des équipements et fournitures, la construction des infrastructures. Les prix des équipements de traitement et machines ont été donnés par les fournisseurs, tandis qu'un montant forfaitaire a été estimé pour les fournitures au bureau. Pour ce qui est de la construction des infrastructures de l'usine, n'ayant pas les paramètres nécessaires pour faire un devis de construction détaillé, les couts ont été estimés en se basant sur des rapports d'études et de projets dans le domaine du BTP (Voir devis en annexe). De là ont pu être tirés les prix unitaires des composantes nécessaires et les montants totaux évalués, en les majorant afin d'éviter de sous évaluer le cout d'investissement total.

Les résultats sont consignés dans le tableau :

**Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements
Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso**

Tableau XIV : Calcul de l'investissement

Désignation	Quantité	Coût unitaire (FCFA)	An 0	An 1
Frais d'établissement				
Frais d'études	U	50 000	50 000	
Frais de publicité et de lancement	U	100 000	100 000	
<i>Sous-total 1</i>			150 000	-
Installations techniques et agencements				
Terrassement	1	1 800 000	1 800 000	
Béton-béton armé	1	600 876 750	600 876 750	
Maçonnerie	1	7 096 306	7 096 306	
Plomberie	1	250 000	250 000	
Peinture-revêtements muraux	1	6 095 720	6 095 720	
Carrelage	1	10 163 200	10 163 200	
Electricité	1	1 350 000	1 350 000	
<i>Sous-total 2</i>			740 605 731	-
Logiciels				
Frais de formation	U			1 000 000
Logiciel comptable, vente, paye et immobilisation	2	100 000		200 000
<i>Sous-total 3</i>			-	1 200 000
Matériels et outillage technique				
Ligne de traitement plastique	1	28 050 000		28 050 000
Ligne de séparation des CI	1	27 500 000		27 500 000
Séparateur électrostatique	1	8 250 000		8 250 000
Four de fusion pour métaux	2	3 960 000		7 920 000
Séparateur magnétique pour métaux	1	3 300 000		3 300 000
Broyeur	2	2 310 000		4 620 000
Matériel de laboratoire	1	5 000 000		5 000 000
Table vibrante	2	1 100 000		2 200 000
Incinérateur	1	4 180 000		4 180 000
Autres machines et outillages	1	5 000 000		5 000 000
<i>Sous-total 4</i>			-	96 020 000
Matériel informatique				
Ordinateurs	6	200 000		1 200 000
Imprimante laser	1	75 000		75 000
Mobilier	1	3 000 000		3 000 000
Photocopieur	1	240 000		240 000
<i>Sous-total 5</i>			-	4 515 000
Besoin en Fonds de Roulement (BFR)			65 492 038	
<i>Sous-total 6</i>			65 492 038	
Total Investissement			806 247 769	101 735 000

Les charges d'exploitation

Elles prennent en compte le prix d'achat des matières premières, les charges du personnel, les taxes et impôts, la maintenance, la communication, l'assurance, l'eau et l'électricité et éventuellement la location de l'espace et les services de prestataires.

Les charges du personnel ont été calculées à partir des salaires perçus par chaque membre selon son poste auxquels a été appliqué le pourcentage attribué aux charges sociales. Le taux d'appel des cotisations du régime de Sécurité Sociale géré par la Caisse Nationale de Sécurité Sociale fixé par le Décret 2003-252 du 20 mai 2003 stipule que 16,6% des charges sociales dues par l'employé sont à la charge de l'employeur. En plus de ce pourcentage, un taux supplémentaire a été appliqué aux salaires des employés. Ce dernier correspond à une marge par rapport aux possibles augmentations de salaires, primes et bonus pouvant être attribués aux employés. Ce taux a été fixé à une moyenne de 15% du salaire annuel.

Les dépenses liées aux consommables (eau et électricité) ont été évaluées à partir des consommations estimées dans l'étude technique et des coûts forfaitaires de l'ONEA fixant à 1040 FCFA le coût du m³ pour les entreprises et de la SONABEL fixant à 114 FCFA le prix du KWh pour les entreprises.

Les charges portant sur l'achat des matières premières ont été calculées en fonction du montant annuel que reçoit l'ABPEV pour l'achat des déchets. Ce montant est d'environ 30 262 000 FCFA, montant qui a été tiré des données inventoriées de l'association. Ces 30 262 000 FCFA sont considérés comme la somme nécessaire à la collecte des 19,27 tonnes annuelles de déchets. Il a été décidé que l'usine pourrait apporter une part de financement à l'ABPEV pour augmenter leur capacité d'achat des déchets afin de pouvoir suivre l'optimisation de la collecte. Il a été décidé d'allouer chaque année un montant correspondant à 10% de celui alloué l'année précédente. Pour la première année d'exploitation, il n'y aurait pas de montant alloué étant donné que les déchets seront directement pris à l'ABPEV, sans contribution à l'achat.

Les résultats sont dans le tableau :

Tableau XV: Calcul des charges d'exploitation

ACHATS	AN1	AN 5	AN 6	AN 7	AN 8	AN 9	AN 10
Achats de matières premières et fournitures liées	-	4 027 791	4 430 570	4 873 627	5 360 990	5 897 089	6 486 798
Achats fournitures non stockables	87 212 942	106 007 876	111 308 269	116 873 683	122 717 367	128 853 235	135 295 897
Frais de télécommunications	1 000 000	1 215 506	1 276 282	1 340 096	1 407 100	1 477 455	1 551 328
Frais bancaires	5 000 000	6 077 531	6 381 408	6 700 478	7 035 502	7 387 277	7 756 641
Frais de formation	1 000 000	1 215 506	1 276 282	1 340 096	1 407 100	1 477 455	1 551 328
Charges de personnel	98 250 000	143 847 825	158 232 608	174 055 868	191 461 455	210 607 601	231 668 361
Dotation aux amortissements	95 733 383	94 228 533	94 228 533	94 228 533	94 228 533	94 228 533	94 228 533
Impôts	0,275						
TOTAL	288 196 324	356 620 569	377 133 951	399 412 381	423 618 048	449 928 646	478 538 886
TOTAL avec impôts	367 450 313	454 691 225	480 845 788	509 250 786	540 113 011	573 659 024	610 137 080

L'amortissement

Ce paramètre définit la perte de valeur des acquisitions faites par l'entreprise : il permet de constater comptablement la dépréciation d'un bien dû à l'usure, au temps ou à l'obsolescence. Lorsqu'un bien est acheté par une entreprise, on considère toujours qu'il l'est pour une durée de vie limitée. Une fois ce délai écoulé, la comptabilité de l'entreprise considère que le bien a été déprécié à 100% et que sa valeur comptable est alors nulle.

Le calcul des amortissements est consigné dans le tableau :

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

Tableau XVI: Calcul des amortissements

Désignation	Montant	Taux	Dotation aux amortissements				
			An 1	An 5	An 6	An 7	An 10
Installations tech et agencements	740 605 731	10,00%	74 060 573	74 060 573	74 060 573	74 060 573	74 060 573
Logiciels	1 200 000	30,33%	363 960	363 960	363 960	363 960	363 960
Matériel et outillage technique	96 020 000	20,00%	19 204 000	19 204 000	19 204 000	19 204 000	19 204 000
Matériel informatique	4 515 000	33,33%	1 504 850	-	-	-	-
Mobilier de bureau	3 000 000	20,00%	600 000	600 000	600 000	600 000	600 000
Total	845 340 731	1	95 733 383	94 228 533	94 228 533	94 228 533	94 228 533

Le Besoin en Fond de Roulement

Il correspond à la somme nécessaire que l'usine devrait posséder pour payer ses charges courantes en attendant de recevoir le paiement dû par ses clients. C'est un facteur qui montre l'autonomie financière d'une entreprise. Il correspond à l'ensemble des stocks et des créances soustrait des dettes aux fournisseurs.

Les résultats sont dans le tableau :

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

Tableau XVII: Détermination du BFR

DESIGNATION	HYPOTHESES	AN 1	AN 5	AN 6	AN 7	AN 8	AN 9	AN 10
Besoins à financer								
Achat d'exploitation	8 mois	-	2 685 194	2 953 714	3 249 085	3 573 993	3 931 393	4 324 532
Achat de fournitures non stockables et de consommables	8 mois	58 141 961	70 671 917	74 205 513	77 915 789	81 811 578	85 902 157	90 197 265
Charges de personnel	6 mois	49 125 000	71 923 913	79 116 304	87 027 934	95 730 728	105 303 800	115 834 180
Créances clients	35 jrs de CA	1 589 289	16 683 724	30 030 703	54 055 266	97 299 479	175 139 062	315 250 312
Total besoins à financer		108 856 250	161 964 748	186 306 234	222 248 074	278 415 778	370 276 412	525 606 289
Ressources								
Fournisseurs	179 jrs d'achat	43 364 213	54 712 179	57 547 923	60 535 468	63 683 405	67 000 856	70 497 507
Total ressources		43 364 213	54 712 179	57 547 923	60 535 468	63 683 405	67 000 856	70 497 507
BFR		65 492 038	107 252 569	128 758 311	161 712 606	214 732 373	303 275 556	455 108 782
Variation du BFR		65 492 038	14 870 925	21 505 742	32 954 295	53 019 767	88 543 184	151 833 226

Le calcul du BFR se fait à partir d'hypothèses reflétant une situation pouvant devenir critique pour l'entreprise afin de savoir combien elle devrait prévoir. Les hypothèses qui ont été considérées sont celles selon lesquelles l'entreprise devrait assurer l'achat des matières premières et consommables durant 06 mois, le salaire du personnel pendant 04 mois sachant que les clients leur doivent un montant à payer dans 35jours et qu'ils doivent à leurs fournisseurs depuis 90jours.

Le chiffre d'affaire

C'est le montant que l'usine obtiendrait à la vente de la totalité de ses produits. Nous nous sommes servis des différentes quantités de déchets que

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

l'on peut obtenir après traitement. Concernant les prix de vente des matériaux, nous nous sommes basés sur les prix actuels de ses matières sur le marché international. Les prix des métaux précieux, du cuivre et de l'aluminium sont tirés de la plateforme 24hGold, référence qui a été prise au niveau de la Chambre des Mines du Burkina. Ceux du fer ont été obtenu par prospection chez des ferrailleurs, et celui du plastique a été choisi conformément aux prix sur le marché international de produits recyclés.

Les prix des produits étant estimés au kilogramme et au gramme, le montant annuel gagné sur leur vente serait proportionnel à la quantité des produits obtenus. De cette manière le chiffre d'affaire prévisionnel a été calculé, en considérant qu'il augmente de 80% chaque année, vu que les quantités déchets augmentent de 80% par an. Les résultats sont dans le tableau :

Tableau XVIII: Calcul du chiffre d'affaire annuel

Désignation	Qté (Kg)	Prix (FCFA/Kg)	Montant (FCFA)
Granulats de plastique	9146,00	25	228 650
Fer	1171,00	50	58 550
Cuivre	1278,60	3 787,30	4 842 442
Aluminium	1065,20	839,30	894 022
Désignation	Qté (g)	Prix (FCFA/g)	Montant (FCFA)
Or	215,82	31 852,88	6 874 616
Argent	1304,58	328,82	428 972
Palladium	84,79	35 615,00	3 019 725
Total chiffre d'affaires			16 346 976

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

Tableau XIX: Estimation du chiffre d'affaire sur 10ans

Désignation	AN 1	AN 5	AN 6	AN 7	AN 8	AN 9	AN 10
Granulats de plastique	228 650	2 400 276	4 320 497	7 776 895	13 998 411	25 197 140	45 354 852
Fer	58 550	614 634	1 106 342	1 991 416	3 584 548	6 452 187	11 613 936
Cuivre	4 842 442	50 834 017	91 501 230	164 702 215	296 463 986	533 635 175	960 543 315
Aluminium	894 022	9 385 089	16 893 160	30 407 689	54 733 840	98 520 912	177 337 641
Désignation	AN 1	AN 5	AN 6	AN 7	AN 8	AN 9	AN 10
Or	6 874 616	72 166 969	129 900 544	233 820 978	420 877 761	757 579 970	1 363 643 946
Argent	428 972	4 503 173	8 105 711	14 590 280	26 262 505	47 272 509	85 090 515
Palladium	3 019 725	31 699 861	57 059 750	102 707 550	184 873 590	332 772 463	598 990 433
Total chiffre d'affaires	16 346 976	171 604 019	308 887 235	555 997 023	1 000 794 641	1 801 430 355	3 242 574 638

Compte de résultat prévisionnel

Le compte de résultat présente l'ensemble des produits et des charges d'une société. En se focalisant sur les gains et les pertes, il permet de gagner son résultat net (bénéfice ou déficit). Le résultat d'exploitation constitue un reflet de la rentabilité économique de l'entreprise. En se basant sur ces données prévisionnelles, il est déjà possible d'espérer générer des bénéfices autour de l'année 15 d'exploitation.

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

Tableau XX: Compte de résultats prévisionnel

DESIGNATION	AN 1	AN 5	AN 6	AN 7	AN 8	AN 9	AN 10
Chiffre d'affaires	16 346 976	171 604 019	308 887 235	555 997 023	1 000 794 641	1 801 430 355	3 242 574 638
Achats de matières premières	-	4 027 791	4 430 570	4 873 627	5 360 990	5 897 089	6 486 798
Marge brute sur matières	16 346 976	167 576 228	304 456 665	551 123 396	995 433 651	1 795 533 266	3 236 087 840
Achats de fournitures non stockables et de consommables	87 212 942	106 007 876	111 308 269	116 873 683	122 717 367	128 853 235	135 295 897
Services extérieurs	6 000 000	7 293 038	7 657 689	8 040 574	8 442 603	8 864 733	9 307 969
Impôts et taxes	79 253 989	79 253 989	79 253 989	79 253 989	79 253 989	79 253 989	79 253 989
Valeur ajoutée	- 156 119 954	- 24 978 674	106 236 717	346 955 150	785 019 693	1 578 561 308	3 012 229 985
Charges de personnel	98 250 000	143 847 825	158 232 608	174 055 868	191 461 455	210 607 601	231 668 361
Excédent brut d'exploitation (EBE)	- 254 369 954	- 168 826 499	- 51 995 891	172 899 282	593 558 238	1 367 953 708	2 780 561 624
Dotation aux amortissements	95 733 383	94 228 533	94 228 533	94 228 533	94 228 533	94 228 533	94 228 533
Résultat d'exploitation	- 350 103 337	- 263 055 032	- 146 224 424	78 670 749	499 329 705	1 273 725 175	2 686 333 091
Impôts sur le résultat	-	-	-	21 634 455,850	137 315 668,761	350 274 423,063	738 741 600,059
Résultat net	- 350 103 337	- 263 055 032	- 146 224 424	100 305 204	636 645 373	1 623 999 598	3 425 074 691
Dotation aux amortissements	95 733 383	94 228 533	94 228 533	94 228 533	94 228 533	94 228 533	94 228 533
Capacité de financement	- 254 369 954	- 168 826 499	- 51 995 891	194 533 738	730 873 906	1 718 228 131	3 519 303 224

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

Les valeurs des résultats d'exploitation, résultat net et de la capacité d'auto financement sont toutes négatives au cours des premières années d'exploitation, ce qui laisse transparaître que le chiffre d'affaire durant ces périodes n'est pas assez suffisant pour couvrir les charges. Durant ces périodes il y a un déficit dans les comptes. C'est à partir de l'année 7 d'exploitation que les résultats de l'usine entrent dans le positif, et donc à partir de cette période qu'elle commencera à faire des bénéfices.

Suivant le compte de résultat, il a été mis en place un plan de financement des investissements, répartis entre les fonds propres et des financements externes :

Tableau XXI : Plan de financement

EMPLOIS	MONTANT	%	RESSOURCES	MONTANT	%
Immobilisations	841 490 731	94%	Fonds propres	100 000 000	11%
BFR	56 142 525	6%	Fonds externes	797 633 256	89%
Total	897 633 256	100%		897 633 256	100%

L'investissement se fera à 11% sur fonds propres et à 89% sur fonds externes. Comme bailleurs externes, il est envisageable de viser des banques des organismes tels que la Banque Africaine de Développement (BAD), la Banque Mondiale ou d'autres banques d'investissement, voire même des organismes et particuliers indépendants, voulant contribuer à ce projet. Les fonds externes devront être remboursés après l'écoulement d'une certaine période. Pour cela il a fallu évaluer différents paramètres afin déterminer les montants à rembourser.

Le taux d'intérêt a été fixé à 7%, en partant sur la base du taux d'intérêt légal minimum de la BCEAO en 2020 fixé à 4,5% et de celui de la BM fixé à 5,1%. Afin de donner de l'attrait aux potentiels investisseurs, le taux a été fixé plus haut que ces références, d'où les 7%.

Le délai de remboursement a été fixé à 10ans, qui est l'étendu prévisionnel.

Les investisseurs seront remboursés par annuités constantes c'est-à-dire qu'ils recouvreront la même somme chaque année pour être totalement remboursés après les 10 années. L'annuité constante est donnée par la formule suivante : $A = C*i / (1-(1+i)^{-n})$

Avec A = annuité, C = capital dû, i = taux d'intérêt et n = délai de remboursement en année.

Avec cette valeur l'intérêt annuel et l'amortissement du capital ont pu être déterminés.

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

Les résultats sont dans le tableau :

Tableau XXII : Plan de remboursement

Années	Capital dû	Intérêt	Annuité	Amortissement du capital
0	797 633 256			
1	797 633 256	55 834 328	113 565 031	57 730 703
2	739 902 553	51 793 179	113 565 031	61 771 852
3	678 130 700	47 469 149	113 565 031	66 095 882
4	612 034 818	42 842 437	113 565 031	70 722 594
5	541 312 225	37 891 856	113 565 031	75 673 175
6	465 639 049	32 594 733	113 565 031	80 970 298
7	384 668 752	26 926 813	113 565 031	86 638 218
8	298 030 533	20 862 137	113 565 031	92 702 894
9	205 327 639	14 372 935	113 565 031	99 192 096
10	106 135 543	7 429 488	113 565 031	106 135 543
				797 633 256

Budget de trésorerie

Le budget de trésorerie permet d'analyser l'activité de l'entreprise d'un point de vue purement bancaire afin de mettre en évidence la trésorerie nette de l'entreprise. Il est composé des encaissements et des décaissements. Les encaissements sont les sommes que l'entreprise est supposée encaisser sur la période prévisionnelle, il s'agira ici du chiffre d'affaire. Les décaissements sont les sommes que l'entreprise va décaisser sur la période prévisionnelle c'est-à-dire les charges et les annuités de remboursement aux investisseurs externes.

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

Tableau XXIII : Budget de trésorerie

DESIGNATION	AN 0	AN 1	AN 5	AN 6	AN 7	AN 8	AN 9	AN 10
Encaissements								
Chiffres d'affaires TTC		19 289 432	202 492 743	364 486 937	656 076 487	1 180 937 677	2 125 687 818	3 826 238 073
Fonds propres	100 000 000							
Fonds externes	797 633 256							
Total encaissement		19 289 432	202 492 743	364 486 937	656 076 487	1 180 937 677	2 125 687 818	3 826 238 073
Décaissement								
Achat de matières		-	1 020 877	1 122 965	1 235 261	1 358 787	1 494 666	1 644 133
Frais généraux		93 212 942	113 300 913	118 965 959	124 914 257	131 159 970	137 717 968	144 603 866
Investissements	841 490 731							
Impôts et taxes		78 895 609	78 895 609	78 895 609	78 895 609	78 895 609	78 895 609	78 895 609
Frais de personnel		98 250 000	143 847 825	158 232 608	174 055 868	191 461 455	210 607 601	231 668 361
Remboursement		113 565 031	113 565 031	113 565 031	113 565 031	113 565 031	113 565 031	113 565 031
Total décaissements		383 923 582	450 630 255	470 782 171	492 666 026	516 440 852	542 280 875	570 377 000
SOLDE DE TRESORERIE		- 364 634 150	- 248 137 512	- 106 295 234	163 410 461	664 496 825	1 583 406 944	3 255 861 073
TRESORERIE FINALE		- 364 634 150	- 1 649 252 385	- 1 755 547 619	- 1 592 137 158	- 927 640 333	655 766 611	3 911 627 684

Le budget de trésorerie permet d'être fixé sur les sommes présentes dans la trésorerie de l'entreprise en fin de l'année d'exercice. Le solde de la trésorerie devient positif au cours de la septième année d'exploitation, et la trésorerie finale de l'usine devient bénéficiaire (prenant en compte le solde de trésorerie en fin de l'année précédente d'exploitation) au cours de la neuvième année d'exploitation. Ce qui vient conforter les résultats

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

obtenus avec le compte de résultat, prévoyant des chiffres positifs au niveau de la septième année.

Les derniers paramètres qui ont été évalué sont les indicateurs de rentabilité :

Il aura d'abord fallu calculer des différents taux de rentabilité : la rentabilité économique et la rentabilité financière. La première valeur mesure la capacité de l'entreprise à générer des bénéfices à partir des capitaux investis et la seconde la capacité de l'entreprise à rémunérer les associés :

- Le premier taux correspond au ratio du résultat d'exploitation et des capitaux investis (immobilisations + BFR) ;
- Le second taux correspond au ratio du résultat d'exploitation et des capitaux propres.

Tableau XXIV : Rentabilité financière - Rentabilité économique

DESIGNATION	AN 1	AN 5	AN 6	AN 7	AN 8	AN 9	AN 10
Rentabilité financière	-2718%	-192,61%	-58,65%	19,07%	64,23%	90,53%	105,85%
Rentabilité économique	-38,82%	-28,88%	-15,83%	9,26%	56,17%	142,49%	299,91%

Suivant ces indicateurs, les derniers paramètres ont pu être évalués :

- La Valeur Actuelle Nette : il est un indicateur financier qui permet de mesurer la profitabilité d'un investissement. La VAN permet de s'assurer la capacité d'un investissement à créer de la valeur dans le temps compte tenu du taux de rentabilité exigé par l'entreprise ;
- Le Taux de Rentabilité Interne : il correspond au seuil d'équilibre entre le montant de l'investissement et les flux de trésorerie actualisés ;
- L'Indice de Profitabilité : correspond au rapport entre la somme des flux net de trésorerie et le montant du capital investi. Un IP supérieur à 1 signifie que l'investissement est acceptable et plus l'IP est élevé plus l'investissement est rentable ;
- Le Délai de Récupération du Capital Investi : il correspond à la durée nécessaire pour que le montant des flux de trésorerie atteigne le capital investi.

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

Tableau XXV : Critères de choix d'investissement

	AN 0	AN 1	AN 5	AN 6	AN 7	AN 8	AN 9	AN 10
CAF Fonds propres Fonds externes	100 000 000 797 633 256	- 349 833 058	- 236 593 923	- 87 231 661	199 953 244	736 781 330	1 724 672 262	3 526 337 734
CAF		- 349 833 058	- 236 593 923	- 87 231 661	199 953 244	736 781 330	1 724 672 262	3 526 337 734
VARBFR INVESTISSEMENTS	841 490 731	56 142 525	13 055 675	19 488 634	30 714 128	50 533 167	85 784 387	148 773 835
Total investissements	841 490 731	56 142 525	13 055 675	19 488 634	30 714 128	50 533 167	85 784 387	148 773 835
Flux Net de Trésorerie Taux d'actualisation	- 841 490 731 9%	- 405 975 582	- 249 649 598	- 106 720 295	169 239 116	686 248 163	1 638 887 875	3 377 563 899
FNT ACT		-	-	-	-	-	-	-
FNT CUMULES		- 405 975 582	- 1 682 964 917	- 1 789 685 212	- 1 620 446 096	- 934 197 934	704 689 942	4 082 253 841
VAN IP TRI DRCI	380 636 596 1,45 11% 8 ans							

Afin de déterminer le VAN, un taux d'actualisation 9% a été fixé comme valeur de départ. Ce taux correspond généralement au taux de rentabilité économique de l'entreprise. Ainsi par le calcul de la VAN, le taux de rentabilité réel (TRI) a été déterminé, celui-ci indiquant réellement à quel pourcentage est-ce que l'activité de l'usine est rentable.

3. Conclusion

Afin de déterminer si notre usine est financièrement réalisable, une étude des coûts que pourraient engendrer sa mise en place a été entreprise. Les principaux paramètres évalués sont les investissements, les charges, l'amortissement, le BFR, le compte de résultat, le chiffre d'affaire, le budget de trésorerie et la rentabilité. A l'issue de ces différents résultats, il serait juste de dire que l'usine de traitement des D3E peut être rentable à partir de sa 07^{ème} année de fonctionnement. En plus de l'aspect financier rentable, un tel projet apportera beaucoup à la ville de Ouagadougou en termes de création d'emplois. Effectivement, non seulement l'usine emploiera de nombreuses personnes, mais elle impactera aussi indirectement le marché de l'emploi par les partenariats qu'elle pourrait former. Elle peut aussi être un apport au PIB du pays par les revenus qu'elle apportera et permettra au secteur informel de se faire une place beaucoup plus marquée dans le domaine industriel.

VII. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

1. Rappel du cadre législatif régissant le projet (notice d'impact ou étude d'impact)

a) Cadre législatif régissant la gestion des D3E au Burkina Faso

Il faut rappeler qu'au Burkina Faso il n'y a pour l'instant pas de réglementation spécifique aux D3E, néanmoins certaines lois concernant les déchets en général peuvent leur être appliqués. Nous avons notamment parlé de :

- La **loi n°006-2013/AN du 02 avril 2013** portant Code de l'Environnement au Burkina Faso, visant à protéger les êtres vivants contre des atteintes nuisibles ou incommodantes et des risques qui gênent et/ou qui mettent en péril leur existence du fait de la dégradation de leur environnement et à améliorer leurs conditions de vie.
- La **loi n°040/98/ADP du 03 aout 1998** portant réglementation de la collecte, transport, du traitement et de l'élimination des déchets urbains.
- La **loi n°022-2005/AN** portant Code de l'Hygiène Publique au Burkina Faso, stipule en ses articles 04 que : « L'élimination des déchets comporte les opérations de pré-collecte, de collecte, de transport, de stockage, de traitement nécessaire à la récupération de l'énergie ou des éléments et/ou matériaux réutilisables, ainsi que la mise en décharge contrôlée, l'enfouissement ou le rejet dans le milieu naturel ».
- La **Loi n°023/94/ADP** portant Code de la Santé Publique au Burkina Faso interdit en son article 23 le déversement ou l'enfouissement de déchets toxiques industriels.

b) Dispositions réglementaires relatives aux EIE et NIE au Burkina Faso

Le **Décret n° 2001-342/PRES/PM/MEE du 17 juillet 2001** portant champ d'application, contenu et procédure de l'étude et de la notice d'impact sur l'environnement.

La procédure administrative d'étude d'impact environnemental se fonde sur ce décret et fait une classification des projets et programmes en trois (03) catégories :

- Catégorie A : les projets qui ont des incidences négatives de grande ampleur, souvent irréversible sur l'environnement (les populations autochtones, les habitats naturels, le patrimoine culturel, etc.), touchant de vastes étendues et générant la réinstallation involontaire des personnes affectées. Ces activités doivent être soumises à une étude d'impact environnemental (EIE) ;
- Catégorie B : les projets de cette catégorie génèrent des impacts négatifs sur l'environnement de moindre ampleur que ceux de la catégorie A, de nature locale et réversible. Il peut être exigé selon le projet, soit une EIE simplifiée (encore appelée Notice d'Impact Environnementale et Sociale, NIES), soit un simple Plan de Gestion environnemental et social (PGES).
- Catégorie C : activités générant moins d'impacts que les catégories A et B, qui ne sont soumises ni à une EIE, ni à une NIE.

Selon ces dispositions, les travaux de mise en place de l'usine de traitement des D3E est de catégorie B, donc soumis à la réalisation préalable d'une Notice d'Impact Environnementale et Sociale (NIES)

c) Dispositions institutionnelles relatives aux EIE et NIE au Burkina Faso

L'Etat burkinabè dispose d'importants instruments institutionnels en matière d'environnement. Le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD) ex Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie (MECV) est le garant institutionnel de la qualité de l'environnement au Burkina Faso. A ce titre, il assure la mise en œuvre et le suivi de la politique du Gouvernement en matière de protection et de préservation de l'environnement. Suivant le **décret n°2005-04/PRS/PM/MECV du 03 janvier 2005** il est organisé autour des structures suivantes :

- Au niveau central, deux (02) Directions Générales que sont la Direction Générale de la Conservation de la Nature et la Direction Générale de l'Amélioration du cadre de vie dont l'une des directions techniques est le Bureau National des Evaluations Environnementales (BUNEE) chargé de l'examen et de l'analyse des rapports environnementaux puis de la surveillance et du suivi environnemental des chantiers ;

- Au niveau déconcentré, treize (13) Directions régionales, quarante-cinq (45) Directions provinciales, chargées de l'application de la politique environnementale à l'échelle locale et régionale ;
- Une structure de concertation et de coordination, qu'est le secrétariat permanent du conseil national pour l'environnement et le développement durable (SP-CONEDD).

Dans la mise en œuvre de la procédure de l'étude d'impact sur l'environnement, le MEDD est représenté par la Direction des Evaluations Environnementales. Pour accomplir ses missions, elle est organisée en deux (02) services qui sont :

- Le service de la promotion des Evaluations Environnementales ;
- Le service du Suivi et Contrôle des Plans de Gestion Environnementale.

2. Rappel des composantes et phases du projet

L'objectif global de cette étude est de contribuer à l'amélioration de la gestion des déchets solides en apportant une solution au problème que pose actuellement les D3E. Un projet de mise en place d'une usine pour le traitement de ces déchets se diviserait en trois (03) phases :

- La phase d'exploration : consiste en l'établissement d'un état des lieux de la zone où sera implantée l'usine ;
- La phase d'aménagement : comprend les travaux de construction des différentes infrastructures de l'usine ;
- La phase d'exploitation : mise en fonctionnement de l'usine.

3. Identification et évaluation des impacts

Lors des différentes phases du projet, des impacts pourront être identifiés, principalement durant les phases d'aménagement et d'exploitation.

a) Identification des impacts potentiels

Il existe dans la littérature plusieurs outils permettant de faire l'identification des impacts sur un milieu. Nous pouvons citer :

- La matrice de Leopold ;

- La matrice descriptive ;
- La matrice numérique.

Ces outils se présentent sous forme de tableau et permettent d'identifier quels impacts on peut avoir soit par rapport aux différentes phases du projet, soit par rapport au milieu récepteur. L'outil utilisé pour l'identification des impacts est la matrice de Leopold.

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

Tableau XXVI : Matrice de Léopold pour l'identification des impacts

Phase du projet	Activités sources d'impact	Composantes environnementales et sociales								
		Milieu Biophysique			Milieu atmosphérique			Milieu humain		
		Faune	Flore	Sol	Poussière	Bruit	Vibrations	Economie	Santé	Sécurité
Construction / Aménagement	Installation du chantier		✗	✗	✗	✗	○	✗	✗	✗
	Terrassement et dénudation du sol		✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	Transport du matériel et de la main d'œuvre		○	○	✗	✗	○	✗	○	✗
	Déblai et remblai		✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	Construction des infrastructures		✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	Installation des machines		○	○	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Exploitation	Transport des déchets		✗	○	✗	✗	○	○	✗	✗
	Lavage des véhicules		○	✗	○	○	○	○	✗	✗
	Tri mécanique		○	○	○	✗	✗	○	✗	✗
	Fonte et moulage des métaux		○	○	○	✗	○	✗	✗	✗
	Granulation du plastique		○	○	○	✗	✗	✗	✗	✗

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

	Traitement des cartes électroniques		○	○	○	×	×	○	×	×
	Incineration		○	×	○	×	○	○	×	×

Légende:  impact généré  pas d'impact généré

b) Analyse des impacts

Milieu biophysique

- Faune et flore : la zone d'implantation de l'usine étant déjà aménagée en centre de traitement des déchets, l'implantation d'une usine n'aura pas d'impacts négatifs majeurs sur la faune et la flore. Ce que nous pourrions citer ce serait notamment la modification du paysage, et la délocalisation de certaines espèces domestiques due aux travaux et à l'exploitation.
- Sol : les principaux impacts sur le sol seront liés aux travaux de construction de l'usine. Les différentes activités telles que le déblai, le remblai, le terrassement, pourraient entraîner la dégradation de certaines caractéristiques du sol, le rendant sec et infertile.

Milieu atmosphérique

- Poussière : les risques d'émission de poussières sont grands durant la phase d'aménagement du site, risquant d'entraîner une dégradation de la qualité de l'air.
- Bruit : les activités de construction et d'installation peuvent entraîner des nuisances sonores pour les habitations aux alentours, par les bruits des différentes machines qui seront utilisées.
- Vibration : de même que pour les nuisances sonores, l'utilisation répétée de machines peut entraîner des vibrations du sol, sources de nuisances pour les habitats aux alentours et aussi pour la faune environnante.

Milieu humain

- Economie : le projet de mise en place de l'usine engendrerait d'une part la création d'emplois et de l'autre les dépenses dues à son installation. Toutefois, la valorisation des D3E serait rentable et constituerait une aide à l'économie par la production de métaux qui pourraient se revendre moins chers que ceux sur les marchés connus.
- Santé : l'aménagement de l'usine pourrait nécessiter la mobilisation d'un important nombre de personnes qui seront exposées aux émissions de poussières et de gaz, pourront être en contact avec des substances nocives pouvant engendrer des maladies respiratoires et autres.
- Sécurité : la construction et l'exploitation de l'usine pourrait occasionner des blessures et autres accidents de travail sur les employés.

c) Evaluation des impacts

L'évaluation des impacts vise à déterminer l'intensité, la portée, la durée et le niveau d'importance de l'impact.

- **Intensité** : elle traduit l'ampleur des modifications observées sur la composante (ex : faune, flore etc...) affectée. Elle est faible lorsque les modifications apportées à la composante ne remettent pas en cause ses caractéristiques, moyenne lorsque le changement apporté à la composante est significatif, affectant ses caractéristiques et son utilisation mais pas de manière complètement irréversible. L'intensité de l'impact est forte lorsque les effets engendrent des modifications importantes de la composante affectée, se traduisant au niveau de ses caractéristiques et son utilisation.
- **Portée** : elle définit l'étendue sur lequel l'impact se fera ressentir. La portée de l'impact est dite ponctuelle lorsque celui-ci est ressenti sur une petite portion d'espace ou concerne quelques individus, locale lorsque l'impact couvre l'espace de l'emprise de la route (30 m) et concerne un nombre significatif de personnes et régionale lorsqu'il couvre un grand territoire ou affecte une grande partie de population.
- **Durée** : c'est l'intervalle de temps sur lequel peut s'étaler l'impact. Cette durée est dite courte lorsqu'elle cesse après l'arrêt de l'activité génératrice d'impact. Elle est moyenne lorsqu'elle s'étend sur une période, mais cesse lorsque la réalisation du projet est terminée et longue lorsqu'elle continue après la mise en place du projet et peut causer des changements définitifs sur les milieux récepteurs concernés.

L'évaluation d'un impact vise aussi à déterminer son degré d'importance dans la perturbation de l'environnement. Nous distinguons (trois) 03 niveaux d'importance : mineur, moyen et majeur.

L'outil utilisé dans l'évaluation des impacts est la matrice de Fecteau

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

Tableau XXVII : Analyse des impacts

Milieu récepteur	Impact	Nature	Intensité	Portée	Durée	Importance	Période
Milieu biophysique	Modification du paysage	Négative	Moyenne	Ponctuelle	Longue	Moyen	Durant les travaux / l'exploitation
	Délocalisation des espèces animales	Négative	Moyenne	Ponctuelle	Moyenne	Moyen	Durant les travaux
	Perte de surfaces cultivable	Négative	Forte	Ponctuelle	Longue	Majeur	Durant les travaux / l'exploitation
	Dégradation des propriétés du sol	Négative	Moyenne	Ponctuelle	Moyenne	Majeur	Durant les travaux
Milieu atmosphérique	Dégradation de la qualité de l'air	Négative	Moyenne	Locale	Moyenne	Majeur	Durant les travaux
	Pollution sonore	Négative	Moyenne	Locale	Moyenne	Moyen	Durant les travaux / l'exploitation
	Vibrations du sol	Négative	Moyenne	Ponctuelle	Moyenne	Moyen	Durant les travaux
Milieu humain	Création d'emplois	Positive	Moyenne	Locale	Longue	Moyen	Durant les travaux / l'exploitation
	Enrichissement du marché des métaux	Positive	Moyenne	Régionale	Longue	Majeur	Pendant l'exploitation
	Maladies	Négative	Moyenne	Locale	Moyenne	Moyen	Durant les travaux / l'exploitation
	Risques d'accidents de travail	Négative	Forte	Locale	Longue	Majeur	Durant les travaux / l'exploitation

4. Mesures d'atténuation ou de bonification

Le projet de mise en place de l'usine pourrait engendrer un bon nombre d'impacts, positifs comme négatifs, sur le milieu récepteur. Il serait alors important de mettre en place des mesures permettant de limiter, compenser voire amender les effets de ces impacts. Des mesures peuvent être prises dans l'optique d'atténuer les impacts cités ci-dessus.

Mesures d'atténuation sur le milieu biophysique

Aménagement d'un espace vert au sein de l'usine qui permettra de rétablir un couvert végétal et les propriétés du sol ;

Aménagement d'aires et hangars pour le stockage de produits pouvant dégrader le sol, le lavage des engins etc... ;

Sensibilisation des employés au respect des espèces animales présentes autour de la zone et à la non pratique du braconnage.

Mesures d'atténuation sur le milieu atmosphérique

Entretien régulier du matériel de l'usine ;

Interdiction de bruler des objets ou déchets de manière non contrôlée (incinération) ;

Arrosage des voies de circulation pour éviter les soulèvements de poussière ;

Entretien régulier des motocyclettes ;

Respect des normes concernant l'utilisation des machines émettant des bruits.

Mesures d'atténuation sur le milieu humain

Port d'équipement de protection individuel par les employés exposés ;

Sensibilisation des employés sur le respect des mesures d'hygiène et de protection.

VIII. ANALYSE DES RISQUES

1. Identification des danger, évaluations des risques et mesures de contrôle

a) Identification des dangers

Danger	Lieu/secteur/activité	Scénario
Blessure	A tous les niveaux	Tri des déchets sans équipement de protection etc...
Chute de plain-pied	A tous les niveaux	Sol glissant ou en mauvais état, objet se trouvant sur le passage, différence de niveau etc...
Chute de hauteur	A tous les niveaux	Absence d'équipement de manutention, différence de niveau, sol glissant etc...
Brûlure	Pendant le traitement	Contact avec un appareil chaud en fonctionnement, accident durant l'incinération des déchets
Incendie	A tous les niveaux	Surchauffe des machines due à un mauvais entretien, inattention durant l'incinération etc...
Lombalgie	Pendant le transport/le traitement	Soulèvement et déplacement d'objets lourds durant des périodes répétées, exposition prolongée à des vibrations etc...
Electrocution	Pendant le traitement	Contact avec un conducteur électrique nu sous tension
Inhalation	Pendant le transport/le traitement	Produits toxiques, odeurs nauséabondes, fumées, poussières etc...
Accident de voiture	Pendant le transport	
Sonore	A tous les niveaux	Exposition continue au bruit des machines
Contamination	Pendant le traitement	Présence de micro-organismes pathogènes sur les déchets
Harcèlement	A tous les niveaux	

b) Evaluation des risques

Les dangers qui ont été identifiés plus haut sont englobés dans des catégories de risques différentes et peuvent se répartie comme suit :

- Risques physiques : les blessures ;
- Risques de chute : chute de hauteur, chute de plain-pied ;
- Risque routier : accident de voiture ;
- Risques liés à l'énergie électrique : brulures ;
- Risques liés au bruit : son ;
- Risques d'incendie : incendie ;
- Risques liés aux agents chimiques : inhalation ;
- Risques liés aux vibrations mécaniques : lombalgie ;
- Risques psychosociaux : harcèlement.

Tableau XXVIII : Matrice d'évaluation des risques

Risque	Gravité	Probabilité	Probabilité + Gravité	Niveau de risque
Risque physiques	3	4	7	Acceptable
Risque de chute	3	4	7	Acceptable
Risque routier	4	2	6	Acceptable
Risques liés à l'énergie électrique	4	2	6	Acceptable
Risque d'incendie	4	2	6	Acceptable
Risques liés au bruit	1	2	3	Non significatif
Risques liés aux agents chimiques	3	3	6	Acceptable
Risques liés aux vibrations mécaniques	2	2	4	Non significatif
Risques psychosociaux	2	1	3	Non significatif

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

c) Moyens de contrôle

Les principales mesures de prévention à mettre en place dans les filières de déchets portent sur : l'environnement, le matériel et technique, les procédés et les tâches à effectuer, le déchet lui-même, ainsi que son conditionnement et l'organisation du travail. Plusieurs types de moyens de contrôles peuvent être mis en œuvre. Les moyens de contrôles qui ont été explorés tournent autour d'activités d'élimination ou substitution, des solutions techniques et le contrôle administratif.

Tableau XXIX : Moyens de contrôle des différents risques

Risques	Moyens de contrôle			
	Elimination / substitution	Solutions techniques	Contrôle administratif	EPI
Risque physiques	Eviter de laisser trainer des objets, entretien et nettoyage des sols	Automatiser certains postes de travail	Mettre en place des procédures claires, mises à jour régulièrement	Mettre en place des procédures d'utilisation de ces équipements selon les zones de travail
Risque de chute	Eviter de laisser trainer des objets, entretien et nettoyage des sols	Mise en place de barrières de sécurités durant les travaux en hauteur	Formation spécifique concernant le travail en hauteur	
Risque routier			Entretenir et maintenir en bon état les véhicules	
Risques liés à l'énergie électrique	Remplacer les machines trop défectueuses par d'autres	Mettre des barrières de sécurité pour prévenir d'une machine	Entretenir et maintenir en bon état les machines	

Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso

	présentant moins de risques	défectueuse pouvant entraîner un risque		
Risque d'incendie	Eliminer / remplacer les produits et machines dangereux	Port d'équipements de protection collective	Surveillance et inspection des postes de travail	
Risques liés au bruit			Réduction des périodes d'exposition	
Risques liés aux agents chimiques	Eliminer les produits dangereux ou hors norme	Port d'équipements de protection collective	Mettre en place des procédures claires, mises à jour régulièrement	
Risques liés aux vibrations mécaniques			Réduction des périodes d'exposition	
Risques psychosociaux			Sensibilisation du personnel par rapport au travail en équipe et au respect des autres	

2. Exigences légales et autres

Cette section traitera des exigences en matière de SST existantes et applicables à l'organisme. Il est important de veiller à la mise en œuvre de ces exigences pour une bonne tenue du système de management de la santé et sécurité au travail.

Les principales exigences légales propres au Burkina Faso sont les suivantes :

- **L'Arrêté n°2011-1556/ MFPTSS/SG/DGPS/DSST** du Ministère de la Fonction Publique, du Travail et de la Sécurité Sociale, fixant la liste des équipements soumis à vérification périodique ;
- Le **Décret N°2011-928/PRES/PM/MFPTSS/MS/MATDS** fixant les mesures générales d'hygiène et de sécurité sur les lieux de travail.

Comme autres exigences, il est possible de détailler sur celles de l'International Finance Corporation (IFC) de la Banque Mondiale, qui englobe la plupart des exigences légales au Burkina Faso. Elles se déclinent dans les points suivants :

Conception et fonctionnement des installations

Conditions climatiques rigoureuses et fermeture de l'installation

- Les structures du lieu de travail doivent être conçues et construites de façon à résister à des conditions climatiques imprévues dans la région, et disposer de locaux où le personnel pourra s'abriter en toute sécurité, le cas échéant.
- On doit élaborer des Procédures Opératoires Standards pour l'arrêt du projet et du procédé, y compris un plan d'évacuation. En outre, on procèdera tous les ans à des séances d'entraînement pour la procédure et le plan.

Lieu de travail et sortie

- L'espace prévu pour chaque travailleur, et l'intégralité des locaux, doivent être adéquats pour l'exécution de toutes les activités, y compris le transport et le stockage provisoire de tous les matériaux et produits.

- Les voies d'accès aux issues de secours doivent être dégagées en permanence. Les issues de secours doivent être en nombre suffisant (deux au minimum pour chaque zone de travail), clairement indiquées et bien visibles.
- Munir les installations d'équipements manuels pour la lutte contre l'incendie, à la fois facilement accessible et simple d'utilisation.
- Équiper les locaux de systèmes anti-incendie et d'alarme à la fois audibles et visibles.

Toilettes et douches

- On doit prévoir un nombre de toilettes (WC et zones de lavage) suffisant pour le nombre de personnes travaillant dans l'installation, ainsi que la séparation hommes / femmes et des indicateurs « libre / occupé ». En outre, on doit prévoir, pour les toilettes, un débit d'eau chaude et froide suffisant, du savon et des sèche-mains.

Fourniture d'eau potable

- On doit prévoir une fourniture d'eau potable à volume approprié, assurée par une fontaine à jet vertical ou tout autre dispositif sanitaire de collecte de l'eau pour boire.

Éclairage

- Dans la mesure du possible, les lieux de travail doivent être éclairés avec une lumière naturelle, complétée par un éclairage artificiel pour encourager la santé et la sécurité du personnel, et permettre l'utilisation sans danger des équipements. En outre, un éclairage spécifique pour la tâche pourra être requis dans des applications stipulant une acuité visuelle spécifique.
- Un éclairage de secours, d'intensité appropriée, devra être installé et se déclencher automatiquement en cas de défaillance de la source d'éclairage artificiel principale, afin d'assurer le déroulement sans danger de l'arrêt / la fermeture, de l'évacuation etc.

Accès sans danger

- On doit prévoir des voies de passage séparées pour piétons et véhicules, à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, ainsi qu'un accès sûr et sans danger approprié.
- On doit prévoir l'accès libre et sans entrave aux équipements et installations devant être entretenus, inspectés et/ou nettoyés.

- On doit installer des mains-courantes et rambardes dans les cages d'escalier, ainsi que sur les échelles, plates-formes, ouvertures fixes et provisoires dans les planchers, aires de chargement, rampes et passerelles etc.
- Les ouvertures doivent être fermées par des portes ou des chaînes amovibles.
- On doit, si possible, installer des couvercles pour assurer la protection contre les chutes d'objets.
- On doit mettre en place des mesures empêchant l'accès non autorisé aux zones dangereuses.

Premiers secours

- L'employeur doit prévoir la présence en permanence de services de secourisme qualifiés. On doit pouvoir accéder facilement à des postes de secours dans l'intégralité des locaux de travail.
- On doit prévoir des postes de rinçage des yeux et/ou de douches de secours à proximité de tous les postes de travail, pour les cas où le rinçage immédiat à l'eau est l'intervention de premiers secours préconisée.
- Lorsque l'envergure des travaux ou le type d'activité effectuée l'exige, on doit prévoir la mise en place de postes de secours / infirmeries spéciaux et équipés de façon appropriée. Les postes de secours et infirmeries doivent être équipés de gants, combinaisons et masques pour la protection contre tout contact avec le sang et autres fluides corporels.
- Dans les postes éloignés, on doit mettre en place des procédures de secours pour les cas de traumatismes ou maladies graves, jusqu'au moment où la victime peut être transférée dans un centre médical approprié.

Risques corporels

Risque pour les yeux : porter des dispositifs de protection des yeux (lunettes de sécurité avec écrans latéraux, lunettes loup et/ou masques).

Éclairage : l'intensité lumineuse dans les zones de travail doit être adéquate pour les applications générales du lieu et le type d'activité, et doit être complétée par l'éclairage nécessaire aux différents postes de travail, selon les exigences.

Risques chimiques

Les risques chimiques sont des causes de potentielles maladies ou d'accidents avec blessures à la suite d'expositions uniques aiguës ou d'expositions chroniques répétées à des substances toxiques, corrosives, sensibilisatrices ou oxydantes. La prévention s'effectue par :

- L'application de mesures techniques et administratives afin d'éviter ou de minimiser le dégagement de substances dangereuses dans le milieu du travail.
- Minimisation du nombre d'employés exposés, ou susceptible de l'être.
- Formation du personnel dans l'utilisation des informations disponible, les méthodes de travail sans danger, et l'utilisation appropriée d'équipements de protection personnelle.

Équipements de protection individuelle

Les équipements de protection personnelle renforcent la protection du personnel exposé aux risques sur le lieu de travail, conjointement avec d'autres contrôles et systèmes de sécurité d'installation.

La figure suivante présente des exemples de risques du travail et des types d'équipements de protection personnelle disponibles pour différentes applications.

Tableau 2.7.1. Récapitulatif des équipements de protection personnelle recommandés en fonction des risques		
Objectif	Risques du lieu de travail	Équipements de protection personnelle recommandés
Protection des yeux et du visage	Particules volantes, métal fondu, produits chimiques fondus, gaz ou vapeurs, rayonnement lumineux	Lunettes de sécurité avec écrans latéraux
Protection de la tête	Chute d'objets, hauteur libre insuffisante, et câbles d'alimentation aériens	Casques en matière plastique avec protection supérieure et latérale
Protection de l'ouïe	Bruits, ultrasons	Protections de l'ouïe (protège-oreilles, couvre-oreilles)
Protection des pieds	Chute ou roulement d'objets ; objets pointus, liquides corrosifs ou chauds	Chaussures et bottes de sécurité pour la protection contre les chutes ou déplacements d'objets, les liquides et les produits chimiques

(IFC, 2007)

Figure 6 : Directives IFC sur les EPI (1)

**Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements
Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso**

Protection des mains	Matières dangereuses, coupures ou lacerations ; vibrations ; températures extrêmes	Gants de caoutchouc ou en matière synthétique (néoprène) ; cuir, acier, matière isolante
protection de la respiration	Poussière, vapeurs, fumées, brouillards, gaz, fumées	Masques dotés de filtres appropriés pour l'élimination des poussières et l'épuration de l'air (produits chimiques, brouillards, vapeurs et gaz). Dosimètres individuels à gaz unique ou multiples, le cas échéant.
	Anoxie	Fourniture d'air portable ou fournie (conduites fixes). Matériel de sauvetage sur site.
Protection du corps / des jambes	Températures extrêmes, matières dangereuses, agents biologiques, coupures et lacerations.	Vêtements isolants, combinaisons, tabliers etc. en matériaux appropriés.

(IFC, 2007)

Figure 7 : Directives IFC sur les EPI (2)

(Voir fiches SST en annexe)

IX. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

A l'issu de ce travail, il faut que la problématique des D3E à Ouagadougou est très importante et doit être étudiée de près. Ouagadougou connaît depuis ces dernières années une très forte croissance démographique, avec une population jeune qui est de plus en plus tournée avec les nouvelles technologies. En plus des quantités de déchets provenant des EEE produits sur le territoire, le pays reçoit comme bon nombre de pays africains des équipements de l'occident déjà sous forme de déchets à leur fin de vie. Le système de gestion de ces déchets est toutefois très primaire dans ces pays et se résume à la collecte et au tri avant qu'ils soient brûlés. Un des acteurs principaux du système de gestion des D3E à Ouagadougou est l'ABPEV, association créée dans le but d'améliorer la gestion de ces déchets.

Le système de l'ABPEV vient apporter un plus en ce qu'il permet l'exportation des déchets après l'étape de tri, évitant ainsi les risques pouvant être engendrés par le brûlage dans la nature. Cependant, ces déchets exportés peuvent être une importante source de produits de valeur, contenant de nombreux métaux, du plastique etc... une approche intéressante serait d'inclure une étape de traitement au système existant afin de pouvoir tirer profit de ce que ces déchets ont à offrir.

Lors de cette étude un système de traitement a été proposé. Celui-ci est axé autour des activités de l'association et il a été complété d'une étape de traitement permettant de récupérer différents produits des D3E. Le traitement visait principalement la récupération des plastiques et des métaux, ainsi que les métaux précieux. Il s'articule autour d'une étape de prétraitement par tri mécanique à la fin duquel les plastiques et les métaux sont récupéré à part, suivi de plusieurs traitements selon les composantes à traiter. Les plastiques sont transformés en granulats par traitement mécaniques, les métaux passent par plusieurs étapes de broyages et séparation pour être à la fin fondus et coulés en barres et lingots de 1Kg. L'usine a été dimensionnée pour pouvoir traiter des quantités de déchets allant jusqu'à 2880 tonnes. Ce dimensionnement a été réalisé dans le but de pouvoir traiter les déchets de la ville de Ouagadougou, mais aussi dans la perspective de pouvoir étendre l'activité de l'usine à l'ensemble du territoire, et au long terme dans la sous-région, car il n'y existe pour l'instant aucune usine de ce type.

L'analyse financière qui a été effectuée ensuite a donné des résultats satisfaisants, en cela que les

différents facteurs de rentabilité sont positifs à l'issue de la 7^{ème} année d'exploitation, signifiant que l'usine serait capable de générer assez de revenus pour assurer ses charges et couvrir ses investissements. En conclusion, l'implantation d'une usine de traitement des D3E serait un projet réalisable techniquement et financièrement. Non seulement elle apportera une solution au problème des D3E, faisant ainsi une grande part dans le domaine environnemental, permettant la protection des ressources telles que l'air et le sol, mais c'est aussi un projet à étendue sociale, qui aura de l'impact sur le secteur de l'emploi, en plus d'apporter des revenus.

A l'issue de cela, recommandations seront ajoutées :

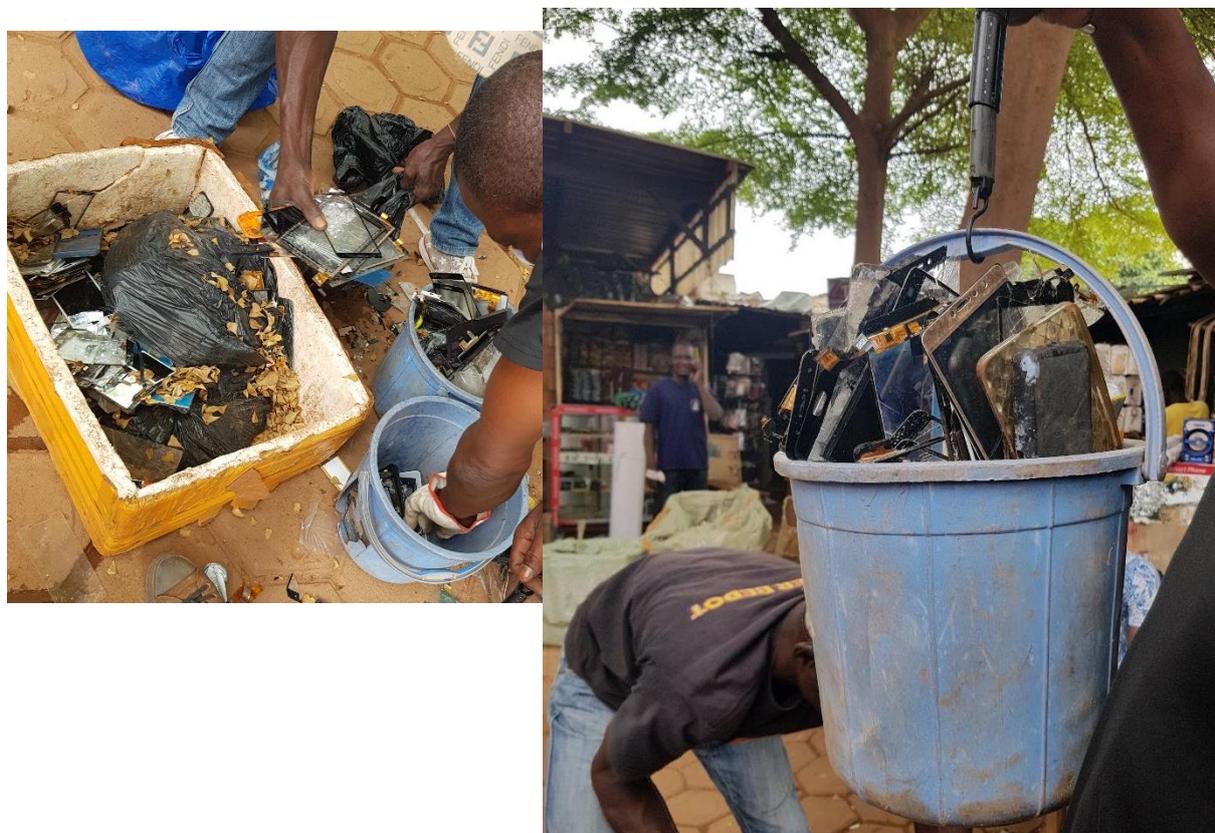
- Les D3E étant des déchets contenant des substances dangereuses, il faudrait que l'Etat revoit sa réglementation afin de mieux encadrer le contexte de leur traitement ;
- Le système de collecte mis en place par l'association devrait être optimisé afin de toucher plus de monde dans la ville de Ouagadougou et permettre le traitement de plus grandes quantités et cela serait intéressant de mener une étude portant sur cette optimisation ;
- Les habitants de la ville doivent être mieux sensibiliser sur la manière de se débarrasser de leurs déchets ;
- Enfin, il serait judicieux de mener une étude complémentaire à celle-ci, portant sur la manière de disposer des métaux dangereux présents dans les D3E.

X. BIBLIOGRAPHIE

- Chancerel, Perrine, Christina E.M. Meskers, Christian Hagelüken, and Vera Susanne Rotter. 2009. "Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment." *Journal of Industrial Ecology* 13 (5): 791–810. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00171.x>.
- Dieng, Diomaye, Cheikh Diop, Jean Birane Gning, Mamané Djitte, and Cheikhou Ibrahima Diaby Gassama. 2017. "Gestion Des Déchets D'équipements Électriques et Électroniques (DEEE) Au Sénégal: Acteurs et Stratégie D'organisation de La Filière." *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 11 (5): 2393–2407.
- Mmerekhi, Daniel, Baizhan Li, and Wang Li'ao. 2015. "Waste Electrical and Electronic Equipment Management in Botswana: Prospects and Challenges." *Journal of the Air & Waste Management Association* 65 (1): 11–26. <https://doi.org/10.1080/10962247.2014.892544>.
- Schaeffer, Nicolas, Helena Passos, Isabelle Billard, Nicolas Papaiconomou, and João A.P. Coutinho. 2018. "Recovery of Metals from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Using Unconventional Solvents Based on Ionic Liquids." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 48 (13-15): 859–922. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1477417>.
- Sethurajan, Manivannan, Eric D van Hullebusch, Danilo Fontana, Ata Akcil, Haci Deveci, Bojan Batinic, João P Leal, et al. 2019a. "Recent Advances on Hydrometallurgical Recovery of Critical and Precious Elements from End of Life Electronic Wastes - a Review." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 49 (3): 212–75. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1540760>.
- Sethurajan, Manivannan, Eric D. van Hullebusch, Danilo Fontana, Ata Akcil, Haci Deveci, Bojan Batinic, João P. Leal, et al. 2019b. "Recent Advances on Hydrometallurgical Recovery of Critical and Precious Elements from End of Life Electronic Wastes - a Review." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 49 (3): 212–75. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1540760>.
- Tchoupou, Aurélien Douandji, Emmanuel Ngnikam, and Martin Yelkouni. n.d. "Contribution À L'amélioration de La Gestion Des Déchets D'équipements Électriques et Électroniques Ménagers Au Cameroun: Cas de La Ville de Douala."
- Townsend, Timothy G. 2011. "Environmental Issues and Management Strategies for Waste Electrical and Electronic Equipment." *Journal of the Air & Waste Management Association* 61 (6): 587–610. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.61.6.587>.
- Umesi, Napoleon O, and Sinclair Onyia. 2008. "Disposal of E-Wastes in Nigeria: An Appraisal of Regulations and Current Practices." *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 15 (6): 565–73. <https://doi.org/10.1080/13504500809469852>.
- IFC, B. M. (2007). *Directives EHS Générales : Hygiène et Sécurité au Travail*.
- Insd. (2019). *Annuaire statistiques régionaux*. Récupéré sur Institut National de la Statistique et de la Démographie: <http://www.insd.bf/n/>
- Naré, L. (2019). *Caractérisation des déchets d'équipements électroniques et électriques (D3E) en Afrique Sub-Saharienne pour une valorisation durable : Cas de Ouagadougou au Burkina Faso*. Ouagadougou.

XI. ANNEXES

Annexe I : Tri et Pesage des déchets au moment de la collecte



Annexe II : Photo du broyeur de déchets



Broyeur de déchets



Séparateur électrostatique à haute tension



Table vibrante

Ligne de traitement du plastique



Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements
Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso



Ligne de séparation des CE



Séparateur magnétique de métaux

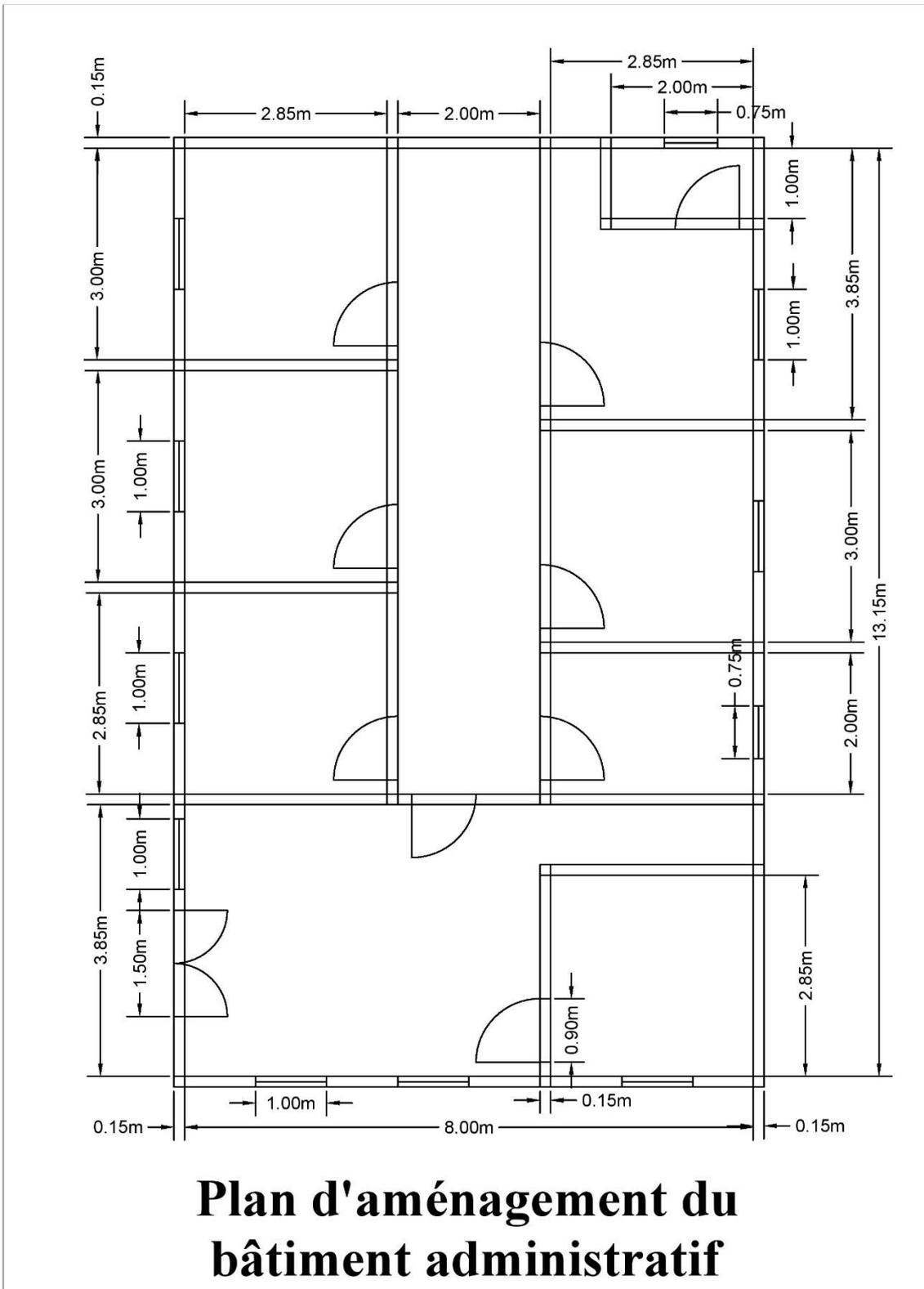


Four à fusion

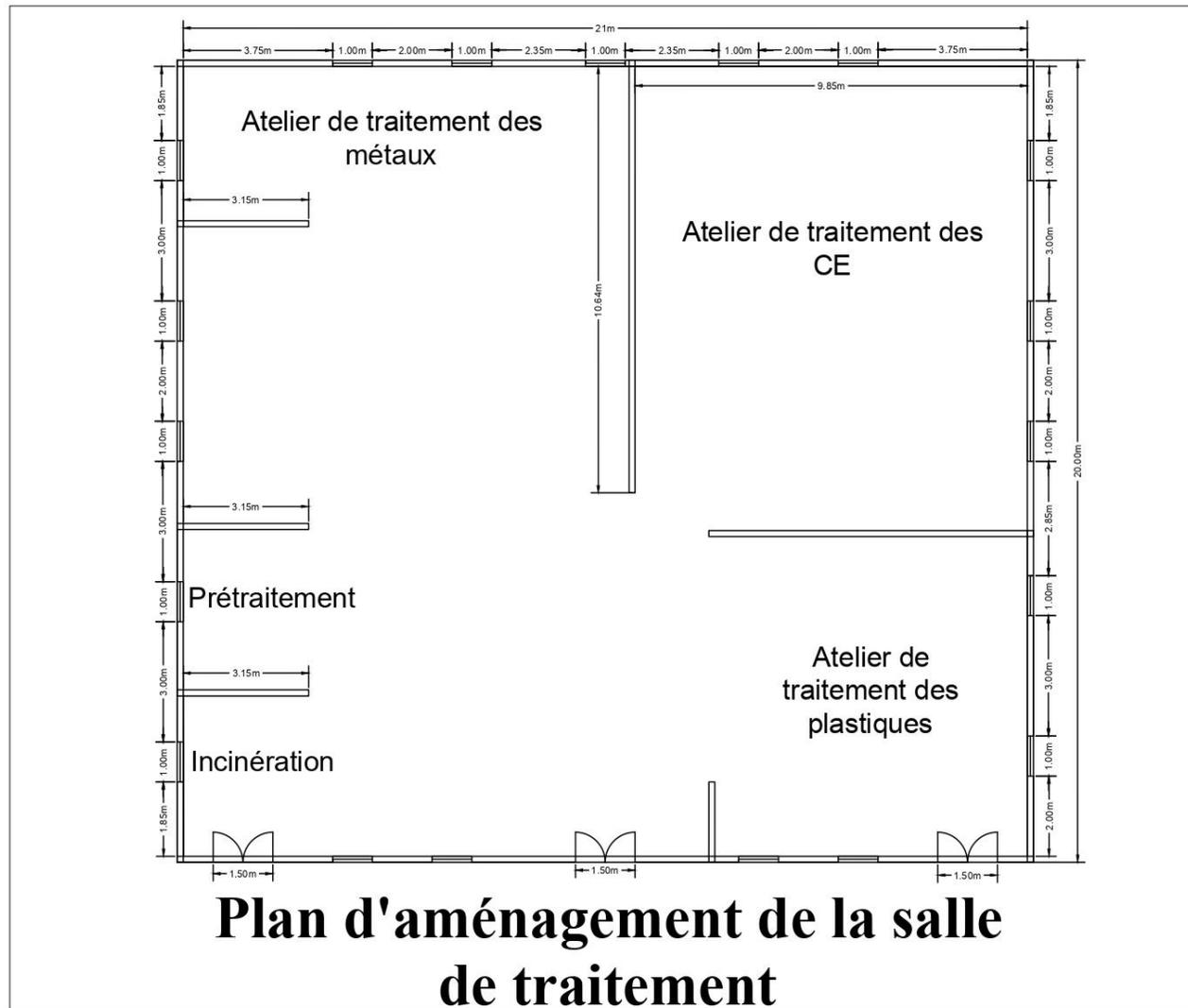


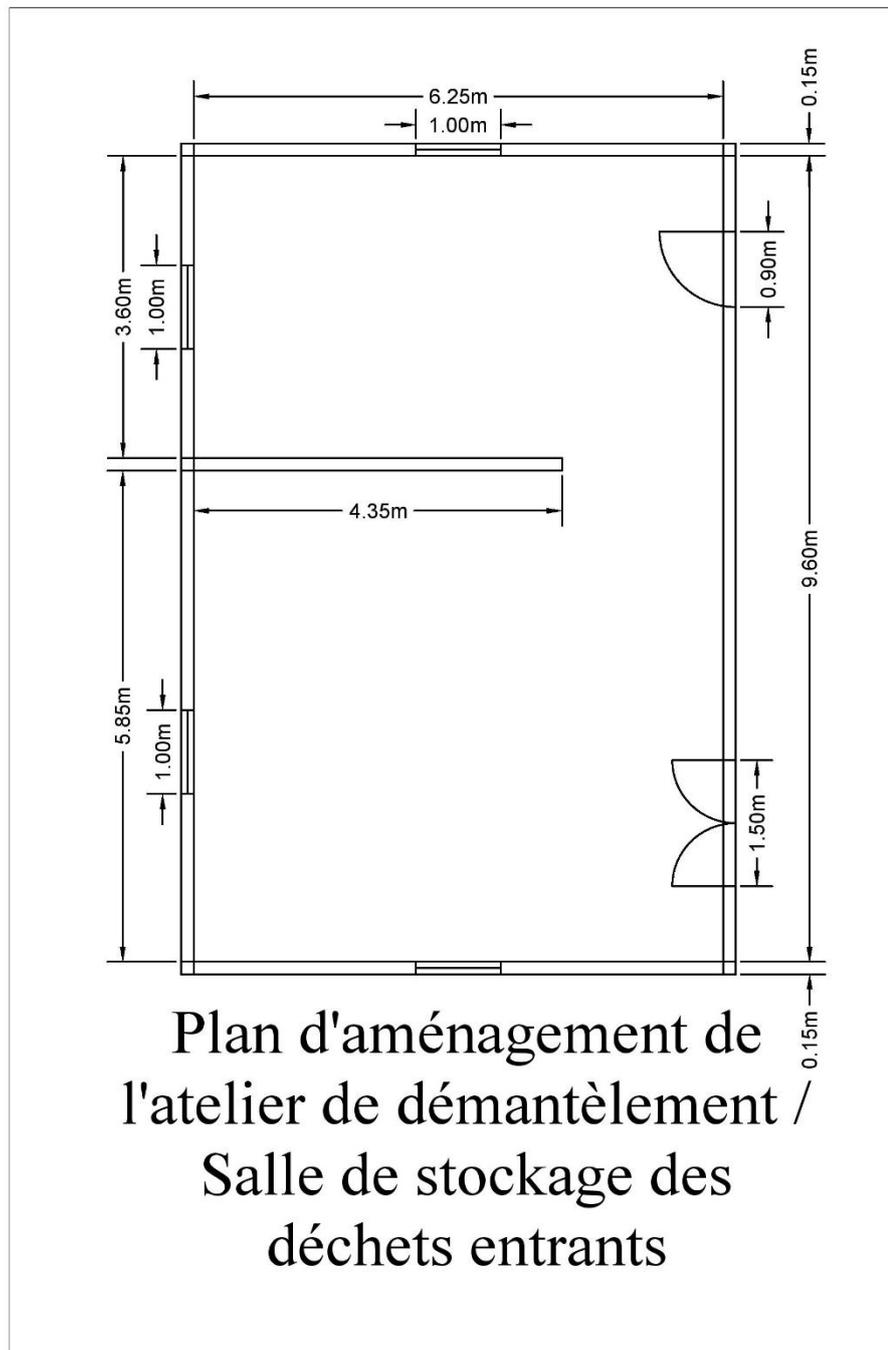
Incinérateur de déchets

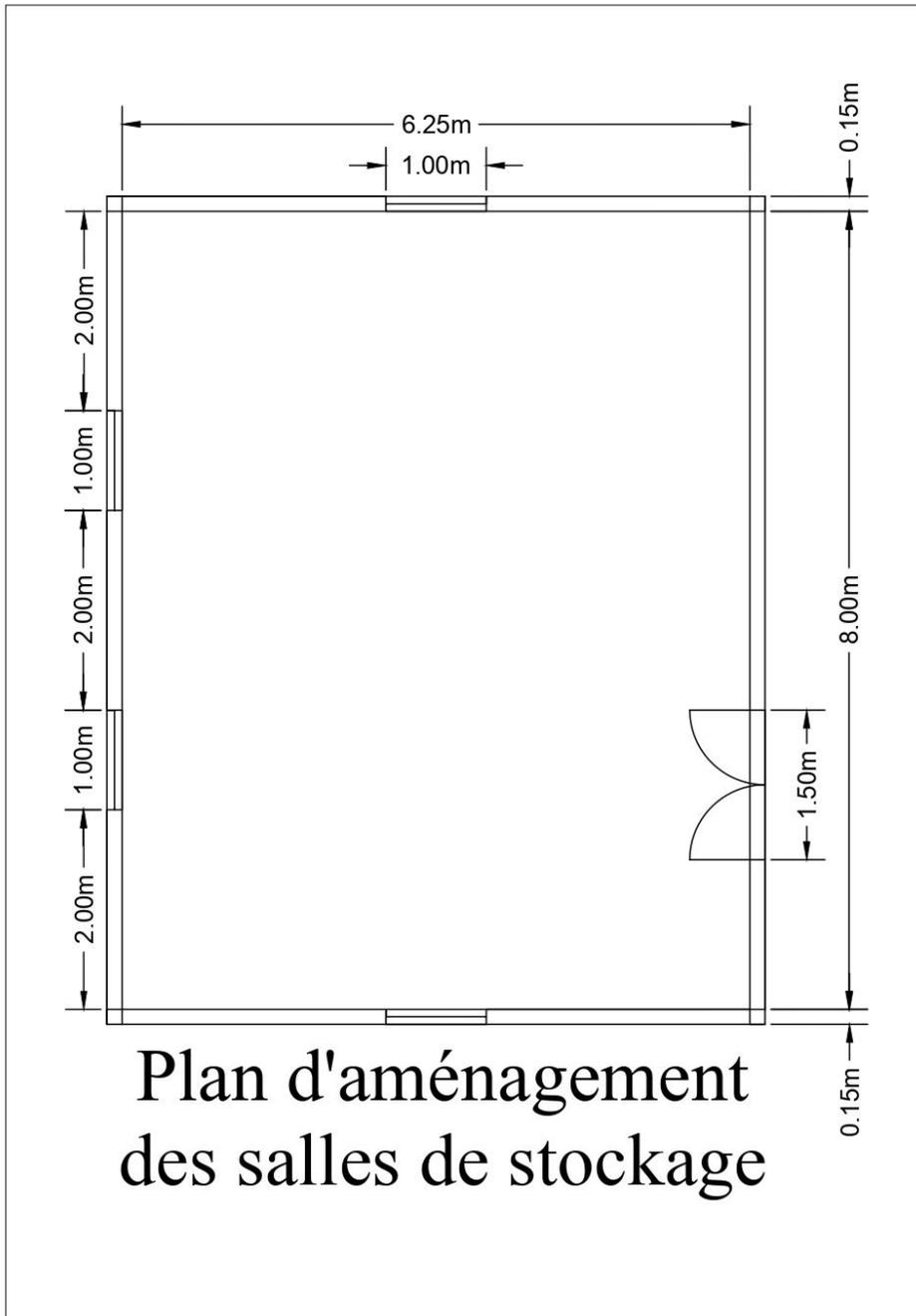
Annexe III : Plans d'aménagement des infrastructures de l'usine



Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso







Annexe IV : Fiche SST

FICHE DE SECURITE		Dernière mise à jour :
Usine de traitement des D3E		12 Juin 2020

Téléphone interne infirmerie : 0319

Sapeurs-pompiers : 18

Téléphone accueil : 0318

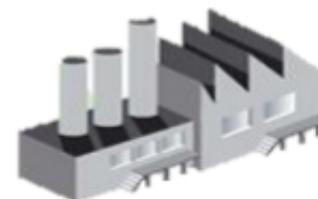
DANGERS



INTERDICTIONS



PROTECTIONS



Risques identifiés	Mesures de prévention individuelle	Mesures de protection collective	Démarches en cas d'accident
Risques physiques et chimiques (chute, accidents, inhalation de poussière)	Equipement de Protection Individuelle	Panneau signalétique Assurance santé Formation des agents Bonne ventilation du milieu de travail Isolation sonore	Prévenir les services de santé ainsi que le responsable du site pour une meilleure prise en charge ; Mise en place de sanction envers tout contrevenant aux dispositions réglementaires.
Troubles Musculo-Squelettique	Suivi médical		
Risques sonores	Port de casque et de bouchons d'oreille		

Annexe V : Devis détaillé de construction des infrastructures

DEVIS ESTIMATIF				
Désignation des ouvrages	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Prix Total
PREPARATIONS - DEMOLITIONS - TERRASSEMENTS-				
Installation de chantier	ff	1,00	300 000	300 000
Implantation de l'ensemble des ouvrages	ff	1,00	500 000	500 000
Fouilles	ff	1,00	1 000 000	1 000 000
Sous Total 1				1 800 000
BETON-BETON ARME				
Fondations	ff	1,00	41 000 000	41 000 000
Béton armé dosé à 350kg/m ² pour poteaux	m ³	0,34	180 000	60 750
Béton armé dosé à 350kg/m ³ pour marches et escaliers	m ³	5,00	180 000	900 000
Béton armé dosé à 350kg/m ² pour poutres	m ³	2990,40	180 000	538 272 000
Plancher hourdis	m ²	635,20	32 500	20 644 000
Sous Total 2				600 876 750
MACONNERIE				
Maçonnerie en agglos pleins de 15x20x40	m ²	26	8 000	208 128
Maçonnerie en agglos creux de 15x20x40	m ²	13,73	7 000	96 128
Enduit intérieur lissé	m ²	1287,92	2 500	3 219 800
Enduit extérieur	m ²	713,70	2 500	1 784 250
Enduit sous dalle	m ²	635,20	2 500	1 588 000
Raccordements et calfeutrements des ouvertures	ff	1,00	200 000	200 000
Sous total 3				7 096 306
PLOMBERIE ET ETANCHEITE				
Tuyauterie pour évacuation et alimentation	ff	1,00	250 000	250 000
Sous total 4				250 000
PEINTURE-REVELEMENTS MURAUX FACADE				
Enduit Peinture lisse sur enduit intérieur	m ²	1287,92	1 000	1 287 920
Peinture vinylique sur enduit intérieur	m ²	1287,92	2 500	3 219 800
Peinture vinylique sur faux plafond	m ²	635,20	2 500	1 588 000
Sous total 5				6 095 720
CARRELLAGE				
Carreaux poli 60x60 pour sols	m ²	635,20	16 000	10 163 200

**Etude de faisabilité de la mise en place d'une usine de traitement des Déchets d'Equipements
Electriques et Electroniques à Ouagadougou, Burkina Faso**

Sous total 6				10 163 200
ELECTRICITE-VMC-CLIMATISATION- TELEPHONIE-INFORMATIQUE				
Généralités				
Frais d'études techniques, d'établissement de plans d'exécution techniques et de plans de recollement				
	ens	1,00	350 000	350 000
Appareillage	ff	1,00	1 000 000	1 000 000
Sous total 7				1 350 000
TOTAL (HTVA)				627 631 976
TOTAL (TVA)				740 605 731

Annexe VII : Rémunération du personnel

Désignation	Nombre	Salaire unitaire mensuel	Salaire annuel brut
Directeur général	1	400 000	4 800 000
Directeur technique	1	350 000	4 200 000
Directeur des ressources humaines	1	350 000	4 200 000
Secrétaire de direction	2	150 000	3 600 000
Chef comptable	1	250 000	3 000 000
Responsable SST	2	250 000	6 000 000
Contrôleur des travaux	2	150 000	3 600 000
Responsable logistique	2	250 000	6 000 000
Technicien électricité	4	200 000	9 600 000
Techniciens	20	100 000	24 000 000
Magasiniers	1	100 000	1 200 000
Technicien de surface	6	50 000	3 600 000
Gardien	2	50 000	1 200 000
Total	45	2 650 000	75 000 000

Annexe VIII : Charges du personnel

DESIGNATION	AN 1	AN 5	AN 10	AN 15	AN 20
Salaires	75 000 000	109 807 500	176 846 077	284 812 375	458 693 178
Charges sociales	12 000 000	17 569 200	28 295 372	45 569 980	73 390 909
Primes, Bonus etc...	11 250 000	16 471 125	26 526 912	42 721 856	68 803 977
Total	98 250 000	143 847 825	231 668 361	373 104 211	600 888 064