

AVANT-PROJET DETAILLE ET ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL DU PROJET DE RENOUELEMENT DE LA LIGNE FERROVIAIRE BELABO- NGAOUNDERE

N°IDENTIFICATION : AA-001172-001

PLAN DE GESTION DES TRAVERSES EN BOIS TRAITES A LA CREOSOTE

AA-001172-001-B-EIES- RD-0001-VD00

CONSULTANT : YÜKSEL PROJE A.Ş. / INTEGC / TEC-CUATRO S.A

DESTINATAIRES :

Jean Ernest MASSENA NGALLÈ BIBÉHÈ
Pierre HELE
Emmanuel NGANOU DJOUMESSI
DE VREESE, Christopher
ARDIACA, Félix
MISSE NTONE, Claude
Pascal MIINY
FANSI, Jacques

Ministre (MINT)
Ministre (MINEPDED)
Ministre (MINTP)
Chargé opération d'opérations secteur public (BEI)
Ingénieur chargé du suivi du projet (BEI)
Directeur des transports ferroviaires (MINT)
Directeur Général (CAMRAIL)
Directeur Délégué des Grands Projets (CAMRAIL)

DATE D'ÉMISSION DU RAPPORT : Mai 2023

L'OPERATION D'ASSISTANCE TECHNIQUE EST FINANCEE PAR LA PLATEFORME D'INVESTISSEMENT POUR L'AFRIQUE (L'AIP), UN INSTRUMENT FINANCIER DESTINE A SOUTENIR LES PAYS PARTENAIRES EN AFRIQUE SUB-SAHARIENNE PAR LE BIAIS DE FINANCEMENT NON REMBOURSABLE DU FONDS EUROPEEN DE DEVELOPPEMENT QUI ACCOMPAGNE LE FINANCEMENT REMBOURSABLE DES INSTITUTIONS FINANCIERES PUBLIQUES EUROPEENNES, AFIN DE GENERER UN EFFET DE LEVIER SUBSTANTIEL.

LES AUTEURS ASSUMENT L'ENTIERE RESPONSABILITE DU CONTENU DU PRESENT RAPPORT. LES OPINIONS EXPRIMEES NE REFLETENT PAS NECESSAIREMENT L'AVIS DE LA BANQUE EUROPEENNE D'INVESTISSEMENT.

YUKSEL PROJE

Birlik Mah. 450 Cad. No: 23
06610 Çankaya/ANKARA
TURQUIE

INTEGC S.A.R.L

Dragage,
BP 11088 YAOUNDÉ
CAMEROUN

TEC-CUATRO, S.A.

Lepant, 350, 3º
08025 BARCELONA
SPAIN

TABLE DE MATIERE

LISTES DES TABLEAUX..... 5

LISTES DES FIGURES	6
LISTES DES ABREVIATIONS	1
1. INTRODUCTION.....	1
2. OBJECTIFS ET CHAMP D'APPLICATION DU PLAN DE GESTION DE DÉCHETS DE BOIS TRAITÉS AU CRÉOSOTE	2
2.1. Objectifs du plan de gestion des déchets de bois traités à la créosote	2
2.2. Champ d'application du plan de gestion des déchets de bois traités à la créosote	2
3. CADRE RÉGLEMENTAIRE ET INSTITUTIONNEL	2
3.1. Cadre réglementaire	2
3.2. Normes internationales.....	3
3.3. Cadre Institutionnel.....	4
4. CARACTÉRISTIQUES ET NUISANCES DES DÉCHETS DE TBC.....	4
4.1. Caractéristiques des déchets de TBC	4
4.1.1. Caractéristiques physiques	4
4.1.2. Caractéristiques chimiques	5
4.2. Nuisances ou impacts des déchets de TBC	5
5. GESTION DES DÉCHETS DE BOIS TRAITÉS À LA CRÉOSOTE.....	7
5.1. Estimation des traverses à enlever le long du tracé de la ligne de chemin de fer Bélabo-Ngaoundéré	7
5.2. Les étapes de gestion des déchets de bois traités à la créosote.....	9
5.2.1. Enlèvement et pré-stockage des traverses bois.....	9
5.2.2. Démontage et tri des traverses bois enlevées de la voie ferrée.....	9
5.2.3. Collecte des TBC.....	10
5.2.4. Transports des TBC	10
5.2.4.1. Transports des TBC des zones de pré-stockage vers le lieu de stockage à Bélabo	10
5.2.4.2. Transport des TBC du site de stockage vers le lieu de traitement.....	10
5.2.5. Stockage des TBC	11
5.2.5.1. Pré-stockage et stockage des déchets de bois traités à la créosote	11
5.2.5.1.1. Caractéristiques des plateformes de pré-stockage des TBC	11
5.2.5.1.2. Dimensionnement des plateformes de pré-stockage	11
5.2.5.1.3. Synthèse des dimensions des plateformes de pré-stockage	13
5.2.5.2. Stockage des déchets de bois traités à la créosote à Bélabo.....	13
5.2.5.2.1. Dimensionnement de l'entrepôt de stockage	13
5.2.5.2.2. Caractéristiques de l'entrepôt de stockage des TBC	13
5.3. Méthodes de traitement et d'élimination des déchets de bois traités à la créosote	13
5.3.1. La bioremédiation	14
5.3.1.1. Le bioréacteur.....	14
5.3.1.1.1. Principe.....	14
5.3.1.1.2. Description de la technologie.....	14
5.3.1.1.3. Coûts et délai	16
5.3.1.2. Bioterre.....	16
5.3.1.2.1. Principe.....	16
5.3.1.2.2. Description de la technologie.....	16
5.3.1.2.3. Coûts et délai	17
5.3.1.3. Avantages et inconvénients de la bioremédiation.....	17
5.3.2. Remédiation chimique	18
5.3.2.1. Principe	18
5.3.2.2. Description de la méthode	18
5.3.2.3. Coûts et délai	19
5.3.2.4. Avantages et inconvénients.....	20

5.3.3.	Remédiation thermique (pyrolyse).....	21
5.3.3.1.	Principe	21
5.3.3.2.	Description de la méthode.....	21
5.3.3.3.	Coûts et délai	22
5.3.3.4.	Avantages et inconvénients	23
5.3.4.	L'enfouissement	23
5.3.4.1.	Critères de choix d'un CET (Philippe T.& all.,2005)	24
5.3.4.2.	Aménagement d'un Centre d'Enfouissement Technique pour les déchets dangereux 25	
5.3.4.3.	Estimation des dimensions pour le CET des bois traités à la créosote	26
5.3.4.4.	Estimation du coût de construction du fossé d'enfouissement des TBC.....	27
5.3.4.5.	Avantages et inconvénients	27
5.3.5.	L'incinération	28
5.3.5.1.	Principe	28
5.3.5.2.	Description.....	28
5.3.5.3.	Coûts et délai	29
5.3.5.4.	Avantages et inconvénients	29
5.3.5.5.	Technique utilisée par BOCOM	30
5.3.5.6.	Estimation des coûts d'incinération des TBC par BOCOM	31
5.3.6.	Remédiation mécanique	31
5.3.7.	Comparaison des méthodes de traitement présentées.....	31
6.	MESURE ALTERNATIVE : STOCKAGE PROVISoire DES TBC À LONG TERME.....	40
6.1.	Localisation et dispositions des aires de stockage	40
6.3.	Dimensionnement et caractéristiques des différents entrepôts	47
6.3.1.	Dimensionnement des différents entrepôts	47
6.4.	Coût estimatif de la construction des entrepôts	50
6.5.	Synthèse des coûts de transport et de la construction des entrepôts des TBC à long terme 51	
7.	PLAN DE SUIVI DU STOCKAGE PROVISoire DES TBC À LONG TERME	51
7.1.	Les actions à surveiller.....	51
7.5.	Les indicateurs de surveillance.....	52
7.6.	Les documents de suivi.....	52
7.7.	Les acteurs responsables du suivi	53
7.8.	Les périodes de suivi.....	53
7.9.	Coût de suivi.....	53
8.	CONCLUSION.....	54
	BIBLIOGRAPHIE.....	55

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1: Nombres de traverses de bois sur le tronçon Bélabo-Ngaoundéré.....	8
Tableau 2: Nombres moyennes de traverses à retirer sur le long du tronçon par itinéraire	8
Tableau 3: Estimation des coûts moyens de transport des TBC par voie ferrée	10
Tableau 4: Coût du transport des TBC de Bélabo à Douala par voie ferrée.	11
Tableau 5: Estimation des coûts d'aménagement des plateformes de pré-stockage.....	13
Tableau 6: Les différents types de pyrolyse et la proportion de ses différents (Bridgwater, 2012)	21
Tableau 7: Superficie minimale pour l'enfouissement des TBC.....	27
Tableau 8: Estimation des coûts construction d'une fosse d'enfouissement des TBC.....	27
Tableau 9: Estimation des coûts de traitement des TBC par incinération de BOCOM.....	31
Tableau 10: Matrice de cotation de l'adaptabilité.....	32
Tableau 11: Matrice de cotation des coûts.....	32
Tableau 12: Matrice de cotation écologique	32
Tableau 13: Matrice d'évaluation des méthodes de traitements.....	32
Tableau 14: Matrice d'hierarchisation des méthodes par priorité	33
Tableau 15: Évaluation et analyse des différentes techniques de traitement des TBC	34
Tableau 16 : Distribution des bases travaux avec aires de stockage	43
Tableau 17: Méthode de calcul des quantités et volumes des TBC	47
Tableau 18: Quantités et volumes des TBC pour chacune des aires de stockage	47
Tableau 19: nombre de blocs et surface nécessaire par aire de stockage	48
Tableau 20: Estimation du coût de transport des TBC vers les aires de stockage.....	50
Tableau 21: Estimation des coûts de construction des différents entrepôts	50
Tableau 22: Synthèse des coûts liés à la construction des entrepôts et transport des TBC vers les aires de stockage.....	51

LISTES DES FIGURES

Figure 1: Utilisation du bois créosoté comme traverses de chemin de fer	4
Figure 2: Étape de gestion des déchets de TBC	9
Figure 3: Schéma de principe d'un bioréacteur	15
Figure 4: Schéma de principe du biotertre	17
Figure 5: Schéma de principe du procédé de remédiation chimique	19
Figure 6: Schéma de principe de la pyrolyse.....	22
Figure 7: Exemple de succession des couches de matériaux constituant l'aménagement de la base d'un CET de déchets (Source : Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites d'enfouissement technique dans les pays du sud).	25
Figure 8: Couches de couverture du CET	26
Figure 9: Schéma d'un système d'incinération à four rotatif.....	29
Figure 10. Modèle d'entrepôt pour le stockage des TBC.....	49

LISTES DES ABREVIATIONS

\$:	Dollar
€ :	Euro
AFD :	Agence Française de Développement
BEI :	Banque Européenne d'Investissement
CAMRAIL :	Cameroon Railways
CCA :	Cuivre-Chrome-Arsenic
CCB :	Cuivre-Chrome-Bore
CET :	Centre d'Enfouissement Technique
E&S :	Environnement et Social
ESS :	Environnement Santé Sécurité
FCFA :	Franc de la Communauté Financière Africaine
H :	Heure
HAP :	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HSE :	Hygiène Sécurité Environnement
IBGE :	Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement
ILO-OSH:	International Labour Standards on Occupational Safety and Health
Kg :	Kilogramme
Km :	Kilomètre
M :	Mètre
MINADER :	Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
MINAS :	Ministère des Affaires Sociales
MINAT :	Ministère de l'Administration Territoriale
MINDDEVEL :	Ministère de la Décentralisation et du Développement Local
MINEE :	Ministère de l'Eau et de l'Energie
MINEPDED :	Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature et du Développement Durable
MINFOF :	Ministère des Forêts et de la Faune
MINHDU :	Ministère de l'Habitat et du Développement Urbain
MINIMDT :	Ministère de l'Industrie, des Mines et du Développement Technologique
MINJUSTICE :	Ministère de la Justice
MINPROFF :	Ministère chargé de la Promotion de la Femme et de la Famille
MINSANTE :	Ministère de la Santé Publique
MINTP :	Ministère des Travaux Publics
MINTSS :	Ministère du travail et de la Sécurité Sociale
NES :	Normes Environnementales et Sociales
PGD :	Plan de Gestion des Déchets
PGSS :	Plan de Gestion de la Santé et Sécurité
PK :	Point Kilométrique
POP :	Polluants Organiques Persistants
T :	Tonnes
TBC :	Traverses de Bois traités au Créosote
UE:	Union Européenne
US :	United States

1. INTRODUCTION

Le Gouvernement de la République du Cameroun se propose de procéder à des travaux de renouvellement de la ligne ferroviaire sur une distance de 329 km, entre Bélabo et Ngaoundéré. CAMRAIL, concessionnaire du chemin de fer depuis 1999, exploite les lignes Transcam 1 de 263 km entre Douala et Yaoundé, Transcam 2 de 622 km entre Yaoundé et Ngaoundéré et la ligne de l'ouest de 99 km entre Kumba et Douala.

Malgré les investissements du concessionnaire et du concédant qui sont encadrés par des plans quinquennaux d'investissements ferroviaires, le secteur ferroviaire camerounais souffre depuis plusieurs années d'un sous-investissement chronique lié à la conjoncture économique régionale qui ne permet ni à l'État, ni au concessionnaire de financer les investissements nécessaires. Ce sous-investissement se traduit par une dégradation rapide du réseau existant, dont les conséquences sont multiples : la perte de compétitivité du rail par rapport à la route, qui a fait l'objet d'investissements massifs ces dernières années, et la difficulté à assurer la sécurité du transport voyageur, risquant d'entraîner l'interruption totale d'un service pourtant fondamental pour le désenclavement des régions du Nord et de l'Extrême Nord.

Face à ce contexte, le renouvellement de deux tronçons a été jugé prioritaire par le gouvernement camerounais : le tronçon Transcam 1 « Douala-Yaoundé », et le tronçon « Bélabo-Ngaoundéré » du Transcam 2. Ainsi, le gouvernement de la République du Cameroun et la CAMRAIL envisagent d'engager les travaux de réhabilitation du tronçon entre les localités de Bélabo et Ngaoundéré, entre les PK 555+476 et PK 884+500 soit environ 329 km de ligne. Cette ligne ferroviaire comprend les itinéraires suivants :

Ngaoundéré – Bawa – Makor – Ngaoundal – Pangar – Mbitom – Tête d'éléphant – Goyoum – Bélabo.

En général, les projets de construction/réhabilitation d'infrastructures, sont susceptibles de générer des différents types de déchets pendant leur phase de réalisation (chantier). Parmi ces déchets produits, nous distinguons des déchets dangereux, des déchets inertes et d'autres déchets solides dits « banals ». Ces déchets selon leur typologie, peuvent générer des impacts et des nuisances sur l'environnement, et les populations. Parmi ces déchets produits, nous avons des déchets de bois traités par des substances toxiques et cancérigènes tels que le pentachlorophénol, les sels métalliques (CCA : Cuivre-Chrome-Arsenic et CCB : Cuivre-Chrome-Bore) et la créosote.

Les études du projet de renouvellement de la ligne ferroviaire ont permis d'identifier sur le tronçon Bélabo-Ngaoundéré une alternance au niveau des traverses en bois traitées (Bélabo-Ngaoundal) et des traverses en fer/métallique (Ngaoundal- Ngaoundéré).

CAMRAIL a cessé d'utiliser la créosote pour le traitement des traverses bois depuis 2013. Depuis 2014 le produit de traitement des traverses bois utilisé par CAMRAIL est la Tanalith qui a été remplacé récemment par le Celcure.

Lors des travaux de rénovation, les Traverses de Bois Créosotées (TBC) qui sont actuellement en support aux rails seront dégagées et remplacées par des barres en béton (traverses bibloc). Tous les déchets s'accumuleront donc au fur et à mesure au droit des zones de travaux, et devront être évacués et traités pour éviter et/ou réduire les effets néfastes de ces bois contaminés sur le milieu naturel et sur les personnes.

Face à cela, l'entreprise chargée des travaux devra préparer et mettre en œuvre un plan de gestion des déchets (PGD) de bois traités à la créosote visant à limiter les impacts négatifs qui peuvent être associés à leur entreposage, leur traitement ou leur élimination. Il s'agit d'un document élaboré pour présenter le détail de l'ensemble des éléments concernant la gestion de ces déchets sur le chantier.

2. OBJECTIFS ET CHAMP D'APPLICATION DU PLAN DE GESTION DE DÉCHETS DE BOIS TRAITÉS AU CRÉOSOTE

2.1. Objectifs du plan de gestion des déchets de bois traités à la créosote

L'objectif général de ce plan de gestion des déchets est de contribuer à la prévention et à la gestion des impacts et risques environnementaux, sociaux et sanitaires potentiels liés à la production de TBC dans le cadre de la mise en œuvre du projet de renouvellement de la voie ferrée de Bélabo à Ngaoundéré.

De façon spécifique, le plan vise à :

- Identifier tous les besoins tant au plan organisationnel, réglementaire qu'au niveau technique et opérationnel, pour améliorer la gestion des déchets de TBC dans les zones d'intervention du projet ;
- Proposer des options technologiques efficaces et adaptées pour une meilleure gestion des déchets de TBC aussi bien dans les zones d'intervention du projet que dans la zone d'impact élargie ;
- Proposer un Plan d'action de gestion des déchets TBC assorti de coûts avec les dispositions et arrangements institutionnels de mise en œuvre (rôles et responsabilités à différents niveaux de mise en œuvre des parties prenantes) ;
- S'assurer que la gestion des déchets TBC est faite en accord avec le cadre légal et les politiques préconisées au sein de CAMRAIL, et en accord avec les normes de sauvegarde environnementale et sociale de la BEI ;
- Promouvoir la sensibilisation environnementale ;
- Assurer un transport, un traitement et un stockage adéquat des TBC ;
- Proposer un mécanisme de suivi-évaluation de la mise en œuvre de ce Plan de Gestion des Déchets.

2.2. Champ d'application du plan de gestion des déchets de bois traités à la créosote

Ce plan de gestion des déchets de bois traité à la créosote est applicable dans toutes les zones et ateliers du projet de réhabilitation du chemin de fer Bélabo–Ngaoundéré. Il s'étend aux localités susceptibles d'abriter les unités de traitement de ces résidus toxiques, en passant par toutes les localités susceptibles d'être traversées par les véhicules et engin transportant ces déchets. Les déchets concernés par ce plan sont les déchets de bois traités à la créosote remplacés lors des travaux, puis collectés et stockés en vue de leur élimination finale. Il s'agit des déchets dangereux qui peuvent entraîner des effets néfastes considérables sur l'homme et son environnement.

Ce plan s'est référé aux lois et réglementations en matière de préservation de l'environnement et de gestion des déchets au Cameroun, tout en tenant compte des exigences de préservation de l'environnement telles que précisées dans les Normes Environnementales et Sociales (NES) de la Banque Européenne d'Investissement, qui définissent les responsabilités E&S des promoteurs dans l'élaboration et la mise en œuvre des projets (notamment les Normes : 1, 3, 5 et 9).

3. CADRE RÉGLEMENTAIRE ET INSTITUTIONNEL

Le Cameroun a connu des avancées très significatives dans le domaine de la protection de l'environnement et spécifiquement dans la gestion des déchets dangereux à l'instar des TBC. Ces avancées se matérialisent sur les plans institutionnel, législatif et réglementaire par l'existence d'un arsenal juridique constitué de lois, décrets, arrêtés et circulaires.

3.1. Cadre réglementaire

S'agissant du cadre législatif, on peut noter :

- La Convention de Stockholm (2001) sur les polluants organiques persistants (POP)
- La loi N° 89/027 du 29 décembre 1989 portant sur les déchets toxiques et dangereux
- La loi N° 94/01 du 20 janvier 1994 portant régime des forêts, de la faune et de la pêche ;
- La loi N° 96/03 du 04 janvier 1996 portant loi cadre dans le domaine de la santé :

- La loi N° 96/12 du 5 août 1996 portant loi-cadre relative à la gestion de l'environnement ;
- La loi N° 96/117 du 05 août 1996 relative à la normalisation ;
- La loi N° 98/005 du 14 avril 1998 portant régime de l'eau ;
- La loi N° 98/015 du 14 juillet 1998 relative aux établissements classés dangereux, insalubres ou incommodes ;
- La loi N° 2001/015 du 23 juillet 2001 régissant l'activité du transporteur routier et d'auxiliaire de transport routier ;
- La loi N° 2003/003 du 21 avril 2003 portant protection phytosanitaire ;
- La loi N° 2004/018 du 22 juillet 2004 fixant les règles applicables aux communes ;
- La loi-cadre n° 2011/012 du 06 mai 2011 portant protection du consommateur au Cameroun ;
- Le Décret N°2011/2582/PM du 23 Août 2011 fixant les modalités de protection de l'atmosphère ;
- Le Décret N°2011/2583/PM du 23 Août 2011 portant réglementation des nuisances sonores et olfactives ;
- Le Décret N°2011/2584/PM du 23 Août 2011 fixant les modalités de protection des sols et du sous-sol ;
- Le Décret N°2011/2585/PM du 23 Août 2011 fixant la liste des substances nocives ou dangereuse et le régime de leur rejet dans les eaux continentales ;
- Le Décret N°2012/2809/PM du 26 septembre 2012 fixant les conditions de tri, de collecte, de stockage, de transport, de récupération, de recyclage, de traitement et d'élimination finale des déchets ;
- Le Décret N°2012/2808/PM du 26 septembre 2012 fixant les conditions d'exercice des fonctions d'inspecteur et de contrôleur de l'environnement ;
- Le Décret N°2014/3446/PM du 07 novembre 201 portant réglementation de l'activité de traitement et de régénération des huiles usagées ;
- L'arrêté N° 001/MINEPDED DU 15 Octobre 2012 fixant les conditions d'obtentions d'un permis environnemental en matière de gestion des déchets ;
- L'arrêté N° 002/MINEPDED DU 15 Octobre 2012 fixant les conditions spécifiques de gestion des déchets industriels (toxiques et/ou dangereux) ;
- L'arrêté N° 003/MINEPDED DU 15 Octobre 2012 fixant les conditions spécifiques de gestion des déchets médicaux et pharmaceutiques.

3.2. Normes internationales

Au niveau international, il convient de préciser que les Normes Environnementales et Sociales (NES) de la BEI qui ont été publiées en Février 2022 fournissent un cadre pour une approche internationalement acceptée pour la gestion des problèmes sociaux et environnementaux. Les NES de la BEI apportent des indications précises aux clients pour leur permettre d'améliorer les performances E&S du projet.

Comme précisé plus haut, ces normes incluent :

- Norme 1 : Impacts et risques environnementaux et sociaux
- Norme 2 : Engagement des parties prenantes
- Norme 3 : Efficacité des ressources et prévention de la pollution
- Norme 4 : Biodiversité et Écosystèmes
- Norme 5 : Changement climatique
- Norme 6 : Réinstallation involontaire
- Norme 7 : Groupes vulnérables, peuples autochtones et genre
- Norme 8 : Droits du travail
- Norme 9 : Santé, sûreté et sécurité
- Norme 10 : Patrimoine culturel
- Norme 11 : Financement Intermédiaire

Ce Plan de Gestion des Déchets de TBC traitera des obligations de gestion de déchets en se conformant aux Normes 1, 3, 5 et 9 de la BEI et aux normes 1, 2, 3, 4 et 10 de la Banque Mondiale.

3.3. Cadre Institutionnel

Dans le cadre de ce projet, la gestion de l'environnement et notamment la prise en compte de la gestion des déchets de TBC connaîtra la participation de plusieurs intervenants autres que le promoteur. Ainsi, plusieurs institutions sont concernées directement ou de manière accessoire. Il s'agit entre autres de :

- Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature et du Développement Durable (MINEPDED)
- Ministère des Forêts et de la Faune (MINFOF) ;
- Le Ministère de l'Eau et de l'Energie (MINEE) ;
- Ministère des Travaux Publics (MINTP) ;
- Ministère de l'Habitat et du Développement Urbain (MINHDU) ;
- Ministère de l'Industrie, des Mines et du Développement Technologique (MINIMDT) ;
- Ministère du travail et de la Sécurité Sociale (MINTSS) ;
- Le Ministère de la Santé Publique (MINSANTE) ;
- Ministère des Affaires Sociales (MINAS) ;
- Le Ministère chargé de la Promotion de la Femme et de la Famille (MINPROFF) ;
- Ministère de l'Administration Territoriale (MINAT) ;
- Ministère de la Décentralisation et du Développement Local (MINDDEVEL) ;
- Le Ministère de la Justice (MINJUSTICE) ;
- Le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER) ;
- Les administrations locales et traditionnelles ;
- Etc...

4. CARACTÉRISTIQUES ET NUISANCES DES DÉCHETS DE TBC

4.1. Caractéristiques des déchets de TBC

4.1.1. Caractéristiques physiques

La créosote est le plus ancien et l'un des plus efficaces produits industriels de préservation pour protéger le bois de la détérioration et de la dégradation causées par les champignons, les insectes et les organismes marins (Jonathan Lamarre, 2020). En plus de son efficacité, la créosote possède d'autres avantages comme : l'imperméabilisation, l'amélioration de la stabilité et de la résistance mécanique, la protection contre la corrosion, la réduction de la conductivité électrique et l'augmentation de la résistance aux produits chimiques corrosifs (Jonathan Lamarre, 2020). C'est pour cela qu'elle est utilisée depuis plus de 150 ans dans une grande variété de produit du bois et aujourd'hui principalement dans les traverses de chemin de fer ainsi que les pilots et bois d'œuvre pour les structures marines. La figure 1 montre un exemple de bois traités à la créosote et utilisés comme des traverses de chemin de fer.



Figure 1: Utilisation du bois créosoté comme traverses de chemin de fer

4.1.2. Caractéristiques chimiques

Produit chimique biocide que l'on injecte sous haute pression dans le bois, afin de le rendre plus résistant à la pourriture, aux termites et aux intempéries, la créosote est une fraction liquide générée lors de la distillation de goudron de houille. Sa nature huileuse lui confère ses propriétés hydrofuges. La créosote est un mélange complexe contenant plus de 250 composés variables produits à partir de charbon (Jonathan Lamarre, 2020). Elle est un composant qui se transforme à l'état gazeux à des températures très basses (à partir de 180 °C) (ABIR OUESLATI, 2020). Elle est soluble dans les solvants organiques (dichlorométhane et toluène). Elle est extrêmement combustible (au-delà d'une certaine température). Elle contient par volume un potentiel énergétique plus élevé que le bois. Elle peut s'enflammer lorsqu'il y a accumulation.

Selon leurs compositions, on distingue les créosotes de type A, B et C. Les plus utilisées sont les créosotes de type B et C. La créosote de type B est utilisée en France jusqu'en 2018 pour les poteaux et celle de type C pour les traverses de chemin de fer (ANSES, 2018). La créosote historiquement utilisée est la créosote dite de type A, comprenant jusqu'à 85% de HAP dont 60% de composés volatils cancérigènes tels que le naphthalène, l'antracène et le benzo[a]pyrène. La différence entre les créosotes de type B et C et la créosote de type A est la teneur en composés volatils, qui a été réduite à un maximum de 20% pour la créosote de type B, et à un maximum de 10% pour la créosote de type C.

Quel que soit le type de créosote, elle contient plusieurs centaines de substances chimiques réparties en six groupes principaux :

- Des hydrocarbures aromatiques, notamment des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP, cancérigènes);
- Des dérivés alkylés des hydrocarbures aromatiques (qui peuvent constituer jusqu'à 90 % de la créosote);
- Des acides de goudron / phénols;
- Des bases de goudron / hétérocycles azotés;
- Des amines aromatiques;
- Des hétérocycles soufrés ou oxygénés comme les dibenzofurannes.

Constituée donc de ces substances, la créosote est un composé susceptible de produire des gaz à effet de serre (responsable des changements climatiques) lors de son traitement. Ainsi, la mise en œuvre du projet doit prendre en compte des mesures d'atténuation, d'adaptation et même de compensation pour réduire les incidences des gaz à effet de serre sur le milieu tel que prévu par la norme 5 de la BEI qui encourage les promoteurs à lutter contre les changements climatiques.

4.2. Nuisances ou impacts des déchets de TBC

L'usage de la créosote comme biocide présente des risques pour la santé et l'environnement à différentes étapes. Ces différentes étapes se situent :

- lors de son application sur le bois ;
- lors de la manipulation du bois traité, de son transport, de sa mise en place,
- lors de son retrait par les professionnels ;
- lors de son traitement en tant que déchets.

Selon l'étude menée par l'IBGE (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement) en 2011, la créosote est un agent de préservation très toxique à n'importe quel stade du traitement (sortie d'imprégnation, séchage, pose sur voie), mais aussi plusieurs dizaines d'années après (Romain Sanchez, 2022). Nous distinguons deux modes de pollution de la créosote sur l'environnement : la pollution localisée et la pollution diffuse.

- **La pollution est dite « localisée » (ou encore « ponctuelle »)** : lorsqu'elle apparaît directement au sein des sites de traitement chimique et de stockage de produits créosotés. Pour prendre l'exemple des traverses, la majorité des émissions d'HAP11 peut donc potentiellement entrer dans le circuit d'eau

potable. C'est pour cela qu'il est recommandé de stocker le bois traité à la créosote à l'abri du soleil et de la pluie. Le bois ne doit pas non plus entrer en contact avec un sol non muni d'un revêtement adapté.

- **La pollution est dite « diffuse »** : lorsque le dégagement de créosote se fait dans l'environnement après contact avec le sol ou l'eau une fois le bois sorti de son endroit de traitement et de stockage. Pour reprendre l'exemple des traverses, les composés chimiques de la créosote peuvent « remonter » à la surface du bois lorsque celui-ci est par exemple placé au soleil pendant une longue période. Une fois à la surface, certains de ces HAP les plus légers s'évaporent dans l'air. Quant à la diffusion des HAP dans le sol, il se fait sur une longue durée, entre cinq et plus de dix ans sur une durée de vie de trente à quarante ans pour prendre l'exemple de la traverse de chemin de fer. La pollution diffuse est donc plus difficilement détectable et ses causes plus difficilement identifiables dans le temps par rapport à une pollution localisée, souvent plus massive. Ces apports diffus de composés créosotés dans le sol risquent de le détériorer peu à peu ainsi que de polluer les nappes phréatiques et cours d'eau environnants.

Dans le cadre de ce projet, ces deux modes de pollutions sont présentes. Ces modes de pollutions engendrent des dommages sur la santé de l'homme et l'environnement.

- **Dommmages sur la santé de l'homme**

L'exposition à la créosote peut causer des problèmes d'irritations cutanées, oculaires ainsi que des brûlures chimiques et des convulsions qui peuvent causer des troubles mentaux (ABIR OUESLATI, 2020). La créosote se caractérise par un pouvoir cancérigène et tératogène (ABIR OUESLATI, 2020) dû à la présence des benzo(a)pyrène, les HAPs majoritaires de la créosote. Par pollution diffuse, elle peut également occasionner des troubles olfactifs, des maladies dues à la pollution des eaux superficielles et des nappes phréatiques.

- **Dommmages sur l'environnement**

La présence des HAPs dans le bois traité à la créosote présente un danger pour l'environnement et une perte économique vu que c'est une ressource non recyclable en fin de cycle de vie. De nombreux problèmes qui touchent l'environnement sont engendrés par la lixiviation des agents chimiques qui se trouvent dans le bois traité à la créosote dont les HAPs, les furanes et les composés phénoliques. Les eaux de surface et les nappes phréatiques peuvent être aussi touchées. Ainsi, puisque la créosote est majoritairement composée des HAPs qui sont difficilement biodégradables, les composants toxiques vont persister dans les sols (ABIR OUESLATI, 2020). Les HAPs les plus toxiques sont celles à un poids moléculaire élevé qui sont les plus persistantes dans les sédiments. Les HAPs de faible poids moléculaire aussi représentent un danger environnemental et de santé suite à leurs réactions avec la lumière et le soleil ainsi qu'à d'autres composants formant d'autres produits qui sont plus toxiques et plus persistant dans l'environnement tels que les HAPs nitro et hydroxy (ABIR OUESLATI, 2020).

Dans la zone du projet, les populations récupèrent parfois les déchets de bois traités à la créosote pour divers usages. Les interviews réalisées auprès des populations riveraines et les observations sur le terrain révèlent que les déchets de traverses sont utilisés pour : la construction des hangars, la construction des haies au tour des champs, la construction des enclos pour le bétail et la construction des clôtures autour des constructions. Plusieurs personnes déclarent également utiliser ces TBC comme : traverses de lit, traverses dans les latrines traditionnelles, rampes d'escaliers, tabourets aménagés dans les cours des concessions dans la quasi-totalité des concessions des villages longeant le chemin de fer. Suivant les déclarations des populations, l'utilisation de ces TBC comme combustible, bois de chauffe ou source d'énergie est de plus en plus restreinte, car ces populations ont clairement noté le caractère toxique et nocif des fumées qui émanent de ce matériau lorsqu'il est brûlé.

Selon les informations recueillies auprès de CAMRAIL, une ONG (RECODH) a été recrutée pour accompagner CAMRAIL dans la collecte des données sur l'utilisation des traverses bois usagées par les populations riveraines de la voie ferrée au Cameroun. Au cours de ses investigations menées dans tous les villages localisés le long du chemin de fer, les utilisateurs des déchets de TBC ont été recensés, de même que leur usage par les populations

riveraines. De plus, des campagnes d'information et de sensibilisation (avec affichages) de ces populations sur les dangers liés à l'utilisation des TBC ont été organisées dans toutes les localités concernées.

Compte tenu de ces effets significatifs sur la santé de l'homme et l'environnement, les TBC seront traitées notamment comme des déchets dangereux. Par conséquent, ce projet doit prendre en compte :

- Des mesures de préventions, de réduction et si possible de compensation des incidences négatives de ces déchets sur l'environnement tel que précisées par la norme 1 de la BEI qui convie les promoteurs à l'identification et la mise en place des mesures visant à éviter, à prévenir et à réduire tout effet négatif important et, si nécessaire, à remédier à tout effet résiduel sur les personnes, les communautés et les travailleurs affectés par le projet, ainsi que sur l'environnement.
- Des mesures garantissant une approche intégrée en matière de prévention de la pollution et de la maîtrise des émissions dans l'air, l'eau et le sol comme convenu à la norme 3 de la BEI qui incite non seulement les promoteurs à ne pas nuire de manière significative, mais plus encore à contribuer à la réalisation de l'objectif ambitieux de l'UE " zéro pollution la prévention des accidentsions.
- Des mesures de prévention, protection et contrôle de la santé, la sûreté et la sécurité des travailleurs du projet (y compris les travailleurs tiers) conformément à la norme 9 de la BEI qui encourage les promoteurs à la mise en place d'un plan de gestion de la santé et de la sécurité (PGSS) qui tient compte des dangers, des risques et des impacts du projet ainsi que des meilleures pratiques internationales, telles que les directives de l'OIT sur les systèmes de gestion de la sécurité et de la santé au travail (ILO-OSH 2001).

5. GESTION DES DÉCHETS DE BOIS TRAITÉS À LA CRÉOSOTE

Le remplacement des traverses suppose l'élimination d'un impact, en surmontant la situation actuelle de contamination des sols et des eaux souterraines. Cependant, une fois remplacées, il se pose le problème de la gestion de ces traverses qui, comme nous l'avons vu, doivent être traitées comme des déchets dangereux. Suite à d'importantes conséquences que pourrait engendrer un tel projet sur l'environnement et la santé des personnes, la nécessité donc de mettre en place un système de traitement ou d'élimination efficace des TBC s'impose. Ce système doit être conforme aux normes 1, 3, 5 et 9 de la BEI et ainsi qu'aux normes 1, 2, 3, 4 et 10 de la Banque Mondiale. Il s'agit :

- d'éviter, de prévenir, de réduire ou, si possible, de compenser les incidences négatives notables sur l'environnement ;
- de garantir une approche intégrée en matière de l'efficacité des ressources, la prévention de la pollution et la maîtrise des émissions dans l'air, l'eau et le sol, la maîtrise de la pollution sonore, la prévention des accidents ;
- d'éviter le transfert de la pollution d'un milieu environnemental à un autre ;
- de contribuer à la réalisation de l'objectif ambitieux de l'UE " zéro pollution;
- d'utiliser des meilleures techniques qui permettent la transition vers une économie circulaire afin de réaliser des substantielles tout au long de la chaîne de valeur et des processus de production ;
- de réduire, de compenser, les incidences des gaz à effet de serre sur le milieu ;
- de promouvoir, protéger et contrôler la santé, la sûreté et la sécurité des travailleurs du projet (y compris les travailleurs tiers).

5.1. Estimation des traverses à enlever le long du tracé de la ligne de chemin de fer Bélabo-Ngaoundéré

Le projet démarre à l'environ du PK 555+476, pointe du BS N°1 de la gare de Bélabo, au PK 884+500, pointe du BS N°22 de la gare de Ngaoundéré, ce qui aboutit à une longueur totale de 329,02 kilomètres.

En considérant qu'on retrouve en moyenne 1500 traverses/Km sur ce tronçon, on peut ainsi faire une estimation de la quantité globale de TBC en considérant qu'elles sont disposées sur tout le linéaire = (nTBC/Km) x (DPK₅₅₅₊₄₇₆/PK₈₈₄₊₅₀₀) = 1500 x 329,02 = 493 530 TBC. Cependant, sur le linéaire en projet, entre Bélabo (PK debut

du projet 555+476) et Ngaoundéré (PK fin du projet 884+500), on distingue deux sections de voie homogènes. La première section longue de 142, 361 km environ, va de Bélabo (PK 555+476) à Pangar (PK 697+ 837) avec une voie sur Traverses Bois (TB). La deuxième section longue de 186,663 km environ, va de Pangar (PK 697+837) à Ngaoundéré (PK 884+500) avec une voie sur plancher mixte, Traverses Métalliques (TM) ou traverses bois. En effet, nous avons un pourcentage de 100% Traverses Bois sur le tronçon Bélabo – Pangar, et 30% sur le tronçon Pangar – Ngaoundéré. De plus, il convient d'ajouter environ 5% de longueur supplémentaire à cette longueur linéaire qui va provenir des zones de gares. En conséquence ; les longueurs corrigées à ces deux sections sont :

- BÉLABO (PK555+476) - PANGAR (PK697+837) = 142,361 x 1.05 = 149,479m
- PANGAR (PK697+837) - NGAOUNDERE (PK884+500) = 186,663 x 1.05 = 195,996m

Selon Camrail, une TBC a pour dimensions 13x22x195 cm, soit un volume de 0,0558 m³, et pèse 66 kg.

Compte tenu du nombre de traverses par km, et du taux de couverture sur chaque section du tronçon, le tableau 1 présente la quantité de traverses à gérer.

Tableau 1: Nombres de traverses de bois sur le tronçon Bélabo-Ngaoundéré

SECTIONS		Linéaire total (en km)	Travelage (traverses /km)	Quantité totale de traverse (unités)	% traverse bois	Quantité de traverses de Bois sur la voie considérée (unités)	Poids moyens des TBC (Kg)	Volumes moyens des TBC (m ³)
BÉLABO (PK555+476)	PANGAR (PK 697+837)	149,479	1 500	224 218	100%	224 218	14 798 388	12 511,364
PANGAR (PK697+837)	NGAOUNDERE (PK 884+500)	196,996	1 500	295 494	30%	88 648	5 850 768	4 946,558
TOTAL						312 866	20 649 156	17 457, 922

(Source : Avant-Projet Sommaire - Cadre de Gestion Environnementale et Social (CGES) sur l'étude de faisabilité pour le renouvellement de la ligne ferroviaire entre Bélabo et Ngaoundéré de 2019)

Compte tenu du pourcentage de traverses à retirer sur la ligne ferroviaire de PANGAR – NGAOUNDERE, nous estimons la moyenne des traverses collectées par km sur cette ligne de 450.

Connaissant les distances minimales entre les différentes gares du tronçon Ngaoundéré – Bélabo, le tableau 2 présente la quantité estimative de traverses à retirer.

Tableau 2: Nombres moyennes de traverses à retirer sur le long du tronçon par itinéraire

Provenance	Destination	PK1	PK2	Distance en Km	Nombre de TBC par Km	Quantité	Poids en Tonne	Volume (m ³)
						(Unités)		
Bélabo	Goyoum	555+476	596+406	41	1500	61395	4052.07	3425.84
Goyoum	Tête d'éléphant	596+406	640+130	44	1500	65586	4328.68	3659.70
Tête d'éléphant	Mbitom	640+130	660+049	20	1500	29879	1971.98	1667.22
Mbitom	Pangar	660+049	697+837	38	1500	56682	3741.01	3162.86
Pangar	Ngaoundal	697+837	753+145	55	450	24889	1642.65	1388.78
Ngaoundal	Makor	753+145	802+647	50	450	22276	1470.21	1243.00
Makor	Bawa	802+647	849+188	47	450	20943	1382.27	1168.64
Bawa	Ngaoundéré	849+188	884+337	35	450	15817	1043.93	882.59

Le présent PGD de traverses de bois traitées à la créosote proposera une démarche optimale pour une gestion efficace de ces déchets, afin d'éviter toutes les nuisances susceptibles de découler d'une mauvaise gestion de ces résidus toxiques suivant les normes 1, 3 et 9 de la BEI ainsi qu'aux normes 1, 2, 3, 4 et 10 de la Banque Mondiale telles que présentées plus haut.

5.2. Les étapes de gestion des déchets de bois traités à la créosote

Conformément à la législation camerounaise et aux recommandations de la BEI ainsi que de la BM, qui exigent la maîtrise de la gestion des déchets dangereux en vue d'éviter la pollution du milieu récepteur, la collecte, le transport et le stockage des déchets industriels (toxiques et/ou dangereux) est réservée aux personnes physiques ou morales agréées par l'administration et disposant en outre d'un permis environnemental délivré par celle-ci.

À cet égard, le retrait, le transport et le stockage des traverses devront être effectués par une entreprise agréée et accréditée pour la gestion et le traitement des déchets dangereux. Il faut prendre en compte dans le cadre de cette gestion, que les opérations de tri, collecte, transport, stockage, valorisation, recyclage, traitement et élimination des déchets sont effectuées par des structures agréées et titulaires des permis environnementaux conformes. De même, tous les mouvements de déchets à l'intérieur du territoire national doivent être accompagnés par des manifestes de traçabilité.

Les principales gestions des déchets de bois traités à la créosote sont celles présentées par le schéma ci-après.



Figure 2: Étape de gestion des déchets de TBC

5.2.1. Enlèvement et pré-stockage des traverses bois

Il s'agit d'une opération qui consiste à ramener les déchets de traverses bois vers les lieux de pré-stockage. Les différents lieux de pré-stockage seront situés dans les aires de stockage et de tri du matériel déposé de la voie, qui seront aménagées dans certaines gares.

L'enlèvement des panneaux de la voie à déposer y compris les TBC, se fera par des portiques hydrauliques y compris leur chargement sur wagons plateformes apprêtées à cet effet. Ensuite, le transport des panneaux de voie déposés se fera par train jusqu'à l'aire de pré-stockage la plus proche des points d'enlèvement. Les bases de pré-stockage les plus appropriées pour les travaux sont les gares de Bélabo, Goyoum, Mbitom, Ngaoundal, Makor, Bawa et Ngaoundéré.

Les lieux d'enlèvement et de pré-stockage devront être signalés par des panneaux tel que les panneaux de signalisation de danger tels que :



5.2.2. Démontage et tri des traverses bois enlevées de la voie ferrée

Les opérations de démontage et de triage des traverses bois enlevées de la voie ferrée se dérouleront au niveau des aires de pré-stockage aménagées.

Étant donné que les TBC sont des déchets dangereux, les agents en charge du démontage et du triage des TBC devront être équipés des Équipements de Protection Individuel (EPI) suivants : les gants, les chaussures ou bottes de sécurité, des cache-nez, des lunettes de protection, des chasubles réfléchissantes. Ces EPI permettront aux agents d'éviter tout risque.

Au cours du démontage des traverses bois des panneaux de voie enlevés, des dispositions devront être prises pour effectuer un tri des traverses, en fonction du produit de traitement Créosote, Tanalith ou Celcure). De plus,

les traverses susceptibles d'être réutilisées notamment pour des installations sur des voies secondaires/techniques, pourront être stockées séparément, avant leur classement en déchet, de façon à prolonger leur durée de vie et diminuer le stock immédiat de déchets à gérer.

5.2.3. Collecte des TBC

Cette opération consiste à collecter les TBC des sites de pré-stockage vers le site de stockage. Compte tenu du caractère dangereux des TBC, le consultant recommande la collecte des TBC à l'aide des wagons spécialisés de train spécialement affrété. Ces moyens de collecte permettront d'éviter la pollution de l'air par les envols des particules dangereux présents sur ces TBC lors du transport, ainsi que la limitation des risques de nuisance sur les personnes. Le consultant recommande également d'équiper l'intérieur des wagons par des bâche étanches pour éviter toute contamination et de les étiqueter de pictogrammes de signalisation de produits toxiques, dangereux pour l'homme et nocif pour l'environnement. Les agents chargés de cette collecte devront également être équipés des EPI suscités, afin d'être protégés de tout risque (chimique, physique).

5.2.4. Transports des TBC

5.2.4.1. Transports des TBC des zones de pré-stockage vers le lieu de stockage à Bélabo

Selon le rapport définitif APS de l'étude de faisabilité pour le renouvellement de la ligne ferroviaire entre Bélabo et Ngaoundéré, et du Cadre de Gestion Environnemental et Social (CGES), l'ensemble des traverses remplacées de cette ligne ferroviaire devra être transporté vers Bélabo du point de vue technique, économique et environnemental. Ainsi, une fois collectées, les TBC seront tout d'abord transportées, déchargées et entreposées vers le site de stockage et en fin des sites de stockage vers le lieu de traitement. Le transport des TBC des points de collecte vers les sites de pré-stockage se fera par la voir ferrée. Le transport des TBC des sites de pré-stockage vers le site de stockage et du site de stockage vers le lieu d'élimination devra se faire par la voie ferrée.

Le tableau 3 présente les coûts moyens de transport de ces TBC par voie ferrée. Ces coûts s'inspirent du rapport provisoire EIES du 09 avril 2021 sur l'étude de faisabilité et avant-projet sommaire pour le renouvellement de la ligne ferroviaire Douala- Yaoundé et du rapport définitif sur l'étude de faisabilité pour le renouvellement de la ligne ferroviaire Bélabo- Ngaoundéré, avant-projet sommaire 03 Cadres de Gestion Environnementale et Sociale (CGES) de novembre 2019.

Tableau 3: Estimation des coûts moyens de transport des TBC par voie ferrée

Provenance	Destination	Distance	Quantité	Poids	Tonne.km	Coût en FCFA (T. Km)	Coût en FCFA
		(KM)		(T)			
Bawa	Bélabo	295	15,300.00	1,009.80	297,891.00	50	14,894,550.00
Makor	Bélabo	248	21,150.00	1,395.90	346,183.20	50	17,309,160.00
Ngaoundal	Bélabo	198	22,500.00	1,485.00	294,030.00	50	14,701,500.00
Pangar	Bélabo	143	24,750.00	1,633.50	233,590.50	50	11,679,525.00
Mbitom	Bélabo	105	52,500.00	3,465.00	363,825.00	50	18,191,250.00
Tête d'éléphant	Bélabo	85	30,000.00	1,980.00	168,300.00	50	8,415,000.00
Goyoum	Bélabo	41	66,000.00	4,356.00	178,596.00	50	8,929,800.00
TOTAL							94,120,785.00

5.2.4.2. Transport des TBC du site de stockage vers le lieu de traitement

Il s'agit du transport des TBC du site de stockage vers le lieu de traitement. Le choix du lieu de traitement est fonction de la méthode de traitement choisi. Toutefois, deux lieux de traitement sont à envisager :

- Bélabo, lieu de stockage des TBC et
- Douala, compte tenu de son environnement industriel.

Ainsi, le coût à considérer pour le transport des TBC du lieu de stockage de Bélabo vers le lieu de stockage de Douala, dans le cas où ce dernier se présente comme tel, s'évalue suivant le tableau ci-après :

Tableau 4: Coût du transport des TBC de Bélabo à Douala par voie ferrée.

Provenance	Destination	Distance (en KM)	Quantité de traverses	Poids (T)	Tonne. Km	Coût (T.K) en FCFA	Coût en FCFA Hors taxe
Bélabo	Douala	599,7	297 467	19 633	11 773 910	50	588 695 500

Chaque transport du lieu de pré-stockage vers le lieu de stockage devra être muni d'un manifeste de traçabilité délivré par le délégué départemental de l'environnement de la localité de départ.

5.2.5. Stockage des TBC

5.2.5.1. Pré-stockage et stockage des déchets de bois traités à la créosote

Des plateformes de pré-stockage seront aménagés dans chacune des gares entre Ngaoundéré – Bélabo. Elles permettront d'accueillir l'ensemble des TBC enlevées sur chacun des tronçons de ligne ferroviaire entre Bélabo et Ngaoundéré, de façon temporaire avant leur évacuation vers le site de stockage de Bélabo.

5.2.5.1.1. Caractéristiques des plateformes de pré-stockage des TBC

Les plateformes de pré-stockage devront être :

- construits à 100 m des habitations, 100 m des cours d'eau, 50 m de la route ;
- équipés de dispositif de drainage ;
- installés en zone non inondable ;
- construits sur des formations géologiques dont la perméabilité est inférieure ou égale à 1.10^{-9} m/s ;
- équipé d'un plancher étanche ;
- équipés de palettes pour l'empilement des TBC ;
- équipés de bâches de couverture des traverses sur les sites lors du pré stockage ;
- confiés à une personne physique nommément désignée et techniquement compétente ;
- respectés l'interdiction de mise en commun de certains produits incompatibles ;
- entouré par une clôture et constamment fermé ;
- étiquetés de pictogrammes indiquant les risques et dangers associés aux déchets entreposés.

5.2.5.1.2. Dimensionnement des plateformes de pré-stockage

Toutes les plateformes de pré-stockage des TBC seront situées dans l'emprise du chemin de fer, dans les environs des différentes gares qui se trouvent sur le tronçon Ngaoundéré – Bélabo. Les différentes plateformes de pré-stockage seront donc au niveau des gares de : Bawa, Makor, Ngaoundal, Pangar, Mbitom, Tête d'éléphant, Goyoum. Quant au site de stockage il sera localisé au niveau de la gare de Bélabo.

Les dimensionnements de ces plateformes de pré-stockage sont fonction du nombre de déchets de TBC à entreposer.

Compte tenu du poids d'une TBC qui est de 66kg et des dimensions qui sont de $0,13 \times 0,22 \times 1,95$, les TBC devront être rangées en petits blocs afin de réduire les risques d'accident liés au chute et à la manutention. Ainsi, un bloc devra être constitué d'un maximum de 70 TBC disposées de la manière suivante : 10 rangées de 07 TBC par rangé. En supposant que les traverses soient stockées en piles d'une hauteur de 1,3 m, la hauteur minimale de tous les entrepôts peut donc être estimée à **3 m**.

- **Au niveau de la gare de Bawa, avec en moyenne 15 817 TBC à pré-stocker, la surface de la plateforme de pré-stockage sera :**

Connaissant la hauteur de l'entrepôt qui a été estimée à 3 m et le volume total TBC estimé à 882,59 m³, la surface de cette plateforme de pré-stockage sera le double du rapport du volume total des TBC à la hauteur de l'entrepôt. La surface est donc **588 m²**.

- **Au niveau Makor, avec en moyenne 20 943 TBC à pré-stocker, la surface de la plateforme sera :**

Connaissant la hauteur de l'entrepôt qui a été estimée à 3 m et le volume total TBC estimé à 1 168,64 m³, la surface de cette plateforme de pré-stockage sera le double du rapport du volume total des TBC à la hauteur de l'entrepôt. La surface sera donc **779 m²**.

- **Au niveau Ngaoundal, avec en moyenne 22 276 TBC à pré-stocker, la surface de la plateforme sera :**

Connaissant la hauteur de l'entrepôt qui a été estimée à 3 m et le volume total TBC estimé à 1 243 m³, la surface de cette plateforme de pré-stockage sera le double du rapport du volume total des TBC à la hauteur de l'entrepôt. La surface sera donc **829 m²**.

- **Au niveau Pangar, avec en moyenne 24 889 TBC à pré-stocker, la surface de l'entrepôt sera :**

Connaissant la hauteur de l'entrepôt qui a été estimée à 3 m et le volume total TBC estimé à 1 388,78 m³, la surface de cette plateforme de pré-stockage sera le double du rapport du volume total des TBC à la hauteur de l'entrepôt. La surface sera donc **926 m²**.

- **Au niveau Mbitom, avec en moyenne 56 682 TBC à pré-stocker, la surface de l'entrepôt sera :**

Connaissant la hauteur de l'entrepôt qui a été estimée à 3 m et le volume total TBC estimé à 3 162,86 m³, la surface de cette plateforme de pré-stockage sera le double du rapport du volume total des TBC à la hauteur de l'entrepôt. La surface sera **2108 m²**.

- **Au niveau Tête d'éléphant, avec en moyenne 29 879 TBC à pré-stocker, la surface de l'entrepôt sera :**

Connaissant la hauteur de l'entrepôt qui a été estimée à 3 m et le volume total TBC estimé à 1 667,22 m³, la surface de cette plateforme de pré-stockage sera le double du rapport du volume total des TBC à la hauteur de l'entrepôt. La surface sera donc **1111 m²**.

- **Au niveau Goyoum, avec en moyenne 65 586 TBC à pré-stocker, la surface de l'entrepôt sera :**

Connaissant la hauteur de l'entrepôt qui a été estimée à 3 m et le volume total TBC estimé à 3 659,70 m³, la surface de cette plateforme de pré-stockage sera le double du rapport du volume total des TBC à la hauteur de l'entrepôt. La surface sera donc **2 440 m²**.

5.2.5.1.3. Synthèse des dimensions des plateformes de pré-stockage

Tableau 5: Estimation des coûts d'aménagement des plateformes de pré-stockage

N°	Localité	Nombre de TBC à pré-stocker	Dimensions de la plateforme de pré-stockage	Coût unitaire (FCFA/m ²)	Coût Total (FCFA/m ²)
1.	Bawa	15 817	588 m ²	23 000 FCFA/m ² (35€/m ²)	13 524 000
2.	Makor	20 943	779 m ²		17 917 000
3.	Ngaoundal	22 276	829 m ²		19 067 000
4.	Pangar	24 889	926 m ²		21 298 000
5.	Mbitom	56 682	2 108 m ²		48 484 000
6.	Tête d'éléphant	29 879	1 111 m ²		25 553 000
7.	Goyoum	65 586	2 440 m ²		56 120 000
TOTAL			8 781 m²		201 963 000

5.2.5.2. Stockage des déchets de bois traités à la créosote à Bélabo

L'ensemble des TBC collectées sur chacun des tronçons de ligne ferroviaire Ngaoundéré - Bélabo et pré-stockées de façon temporaire dans les gares intermédiaires, seront évacuées vers le site de stockage de Bélabo.

5.2.5.2.1. Dimensionnement de l'entrepôt de stockage

- Au niveau de la gare Bélabo, il s'agit d'un entrepôt de stockage, avec 297 467 TBC à stocker, les dimensions de l'entrepôt de stockage seront :

- Hauteur de l'entrepôt

En supposant que les traverses soient stockées en piles d'une hauteur de 1,3 m ; la hauteur minimale de l'entrepôt sera la même que celle des entrepôts de pré-stockage soit **3 m**.

- Surface de l'entrepôt

Connaissant la hauteur de l'entrepôt qui a été estimée à 3 m et le volume total TBC estimé à 16 598,63 m³, la surface de cet entrepôt sera le double du rapport du volume total des TBC à la hauteur de l'entrepôt. La surface sera donc **11 065 m²** pour un coût de **254 495 000 FCFA**.

5.2.5.2.2. Caractéristiques de l'entrepôt de stockage des TBC

L'entrepôt de stockage devra être :

- construit à 100 m des habitations, 100 m des cours d'eau, 50 m de la route ;
- équipé de dispositif de drainage ;
- équipé d'un décanteur ;
- installé en zone non inondable ;
- construit sur des formations géologiques dont la perméabilité est inférieure ou égale à 1.10⁻⁹ m/s ;
- équipé d'un plancher étanche ;
- entièrement couvert par une toiture ;
- équipé de palettes pour l'empilement des TBC ;
- confié à une personne physique nommément désignée et techniquement compétente ;
- respecté l'interdiction de mise en commun de certains produits incompatibles ;
- étiquetés de pictogrammes indiquant les risques et dangers associés aux déchets entreposés.

5.3. Méthodes de traitement et d'élimination des déchets de bois traités à la créosote

Suivant le rapport final de la BRGGM/RP-58609-FR de juin 2010, la contamination du bois par les agents de préservation limite sa valorisation, et ce pour des raisons environnementales, réglementaires, sécuritaires,

technologiques et économiques. Il existe plusieurs techniques de traitement et d'élimination de ce genre de déchets. Suivant le rapport final de la BRGM/RP- 58609 – FR de juin 2010, nous avons :

5.3.1. La bioremédiation

Encore appelée biodégradation stimulée, la bioremédiation est une méthode d'assainissement « in-situ » au sens strict. Elle se fonde sur l'utilisation de microorganismes (bactéries, champignons, algues) pour dégrader les pollutions liées à des substances organiques telles que les hydrocarbures. Elle permet de transformer écologiquement des polluants hydrocarbures en eau et en CO₂.

Cette technique permet d'éliminer ou de réduire la concentration de la créosote dans le bois, ou encore de transformer des composés toxiques en métabolites moins dangereux et moins complexes. Ces procédés font recours principalement à des champignons de pourritures blanches qui dégradent les matériaux lignocellulosiques et peuvent, ainsi, éliminer la créosote en 44 jours et plus (ABIR OUESLATI, 2020).

Les algues et les champignons sont aussi capables de dégrader ces xénobiotiques (molécule chimique polluante et parfois toxique) par l'intermédiaire des enzymes extracellulaires qui sont produites. Ces champignons sont capables de croître même sous des conditions de stress environnemental. La dégradation de la créosote est meilleure avec *P. ostreatus* que *I. lacteus* (ABIR OUESLATI, 2020). Parmi les enzymes utilisés pour la biodégradation des HAPs, il y a la lignine peroxydase (enzymes lignolytiques), l'oxygénase et la déshydrogénase.

Il existe plusieurs techniques de bioremédiation parmi lesquelles : la bioremédiation in-situ et la bioremédiation ex-situ. C'est cette dernière qui est utilisable dans ce type de projet. Elle comprend plusieurs principes donc les principaux sont : le bioréacteur et biotertre.

5.3.1.1. Le bioréacteur

5.3.1.1.1. Principe

Méthode de biorémédiation ex-situ, il consiste à mélanger les sols pollués avec de l'eau et divers additifs afin de mettre les particules de sols en suspension dans l'eau et de former un mélange boueux. Les boues sont traitées par voie biologique dans des bioréacteurs puis sont déshydratées. Le rendement de ce procédé varie fortement en fonction des conditions du milieu ; il peut dans certains cas atteindre plus de 98-99 % si le temps de traitement est suffisamment long et si les conditions sont favorables. Idéalement utilisé pour les sols pollués, il peut également être utilisé pour le traitement des bois créosotés.

5.3.1.1.2. Description de la technologie

De façon précise, les bois traités à la créosote seront émottés, criblés en granulométrie très fine avant traitement. Par la suite, ils seront mélangés avec de l'eau en quantité suffisante pour maintenir les matières solides en suspension ; Le ratio du mélange eau/solide dépend de la concentration en polluants, du taux de biodégradation et de la nature des solides. Parfois, divers additifs sont ajoutés afin de favoriser la biodégradation (tensioactifs afin de rendre les polluants plus biodisponibles, nutriments, acides ou bases afin de maîtriser le pH ...). Ensuite, les boues sont mélangées dans le bioréacteur ; de l'oxygène est ajouté par simple brassage ou si nécessaire par bullage (la majorité des bioréacteurs est aérobie). Les bioréacteurs sont de divers types : alimentation en continu ou en batch, procédés à cultures libres ou fixes, procédés aérobies ou anaérobies (le moins courant), procédés extensifs ou intensifs (Cf. Figure 3).

Les matières solides et les eaux sont séparées une fois que la dégradation biologique est finalisée. Les eaux sont pro parte recyclées (pour réensemencer le bioréacteur) et pro parte traitées avant rejet (le type de traitement dépend alors des normes de rejets imposées). Si nécessaire les rejets gazeux devront être traités.

Du point de vue technologique, cette technique bien qu'elle est la plus adaptée que les autres techniques biologiques pour le traitement des polluants peu biodégradable, elle est très complexe car sa réalisation nécessite d'importants matériels parmi lesquels :

- une plateforme de prétraitement des bois (homogénéisation, criblage, lavage si nécessaire...),

- un bassin d'aération (avec un dispositif d'injection d'oxygène si nécessaire), un dispositif de mélange des boues, une unité de préparation et d'ajouts des additifs (matériel relatif à l'ajout de nutriments, de bactéries, de tensioactifs, de composés acides ou alcalins),
- du matériel de contrôle des conditions du milieu (oxygénation du milieu, concentration des nutriments, température, densité de la population microbienne en place),
- un clarificateur/décanteur (l'eau épurée est séparée des solides),
- un dispositif de récupération et de recirculation des eaux (les eaux récupérées dans le clarificateur sont dirigées vers l'unité de fabrication des boues),
- une filière de traitement des eaux avant rejet,
- une filière de traitement des boues (décanteurs, épaisseurs, filtres presses, filtres à bandes presseuses, centrifugeuses),
- un stockage des déchets solides et liquides issus du traitement.

Cette complexité est davantage plus prononcée en ceci qu'il faudra suivre les paramètres suivants :

- la granulométrie et les matières en suspension,
- le débit, le temps de séjour,
- les paramètres relatifs au bon développement des bactéries : pH, température, conductivité, potentiel redox, ratio C/N/P/K, teneurs en éventuels additifs, si nécessaire dénombrement bactérien dans les sols et dans l'eau,
- les concentrations en polluants dans les sols et les eaux (suivi de la production de CO2 notamment),
- les concentrations en sous-produits de dégradation,
- si nécessaire, concentrations en polluants dans les rejets atmosphériques et paramètres relatifs au traitement des gaz (débits, dépression, perte de charge, saturation du charbon actif...),
- si nécessaire, concentrations en polluants dans les rejets liquides et paramètres relatifs au traitement des eaux (débits, saturation des filtres...).

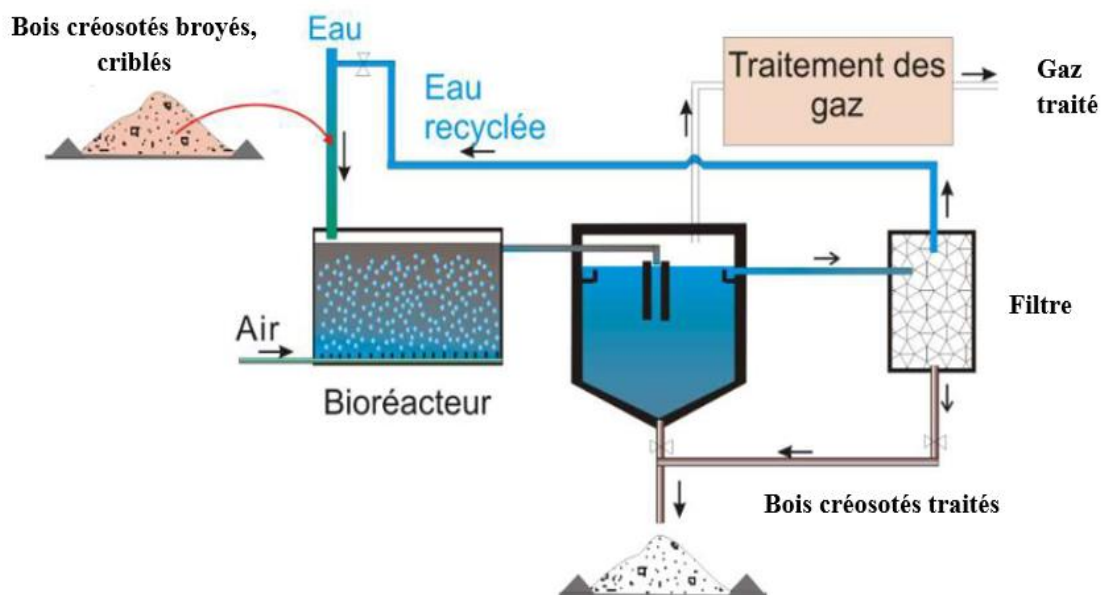


Figure 3: Schéma de principe d'un bioréacteur
(Source : Rapport final de la BRGGM/RP-58609-FR de juin 2010)

Au regard de cette technologie, le consultant recommande Douala comme lieu de traitement des TBC par la méthode de bioréacteur car son environnement industriel sied à ce type de traitement.

5.3.1.1.3. Coûts et délai

Le coût technologie varie entre 50 et 120 €/T soit 32 800 et 78 720 FCFA/T. Par conséquent pour le traitement des bois créosotés, le coût technologie hors transport et hors taxe sera compris entre 981 340 et 2 355 216 € soit 643 759 040 et 1 545 021 696 FCFA.

Ainsi, pour la mise en œuvre de cette méthode de traitement, il faudra ajouter au coût technologie : le coût de transport des TBC des lieux de pré-stockage vers le lieu de stockage évalué à 94 120 785 FCFA et le coût de transport des TBC de Bélabo vers Douala évalué à 588 695 500 FCFA. Par conséquent, le coût total hors taxe du traitement des TBC par la méthode de Bioréacteur sera estimé entre 1 326 575 325 et 2 227 837 981 FCFA. Soit entre 2 022 219 et 3 396 095 €.

Les temps de traitements sont plus rapides en comparaison aux autres traitements biologiques. Ils sont en effet de l'ordre de quelques semaines à quelques mois.

5.3.1.2. Biotertre

5.3.1.2.1. Principe

Le biotertre consiste à mettre des sols pollués en tas en vue d'un traitement biologique. Pour ce faire, les sols pollués font généralement l'objet d'un amendement et les conditions dans le biotertre sont contrôlées (aération, ajouts de nutriments ...). Le rendement de ce procédé varie fortement en fonction des conditions du milieu ; il peut dans certains cas atteindre plus de 90 % si le temps de traitement est suffisamment long. Comme le bioréacteur, principalement utilisé pour les sols pollués, il peut également être utilisé pour le traitement des bois créosotés.

5.3.1.2.2. Description de la technologie

Les bois traités à la créosote après avoir été criblés et émottés en granulométrie très fine sont mélangés avec un amendement (agent structurant) et sont par la suite dirigés vers une aire de traitement contenant à minima un système de collecte de lixiviats et des unités d'aération (extraction ou insufflation d'air) afin d'optimiser le transfert de l'oxygène et la stimulation de la biodégradation (cf. Figure 4). La biodégradation est contrôlée (température, taux d'humidité, nutriments, oxygène, pH). Les biotertres sont le plus souvent recouverts par une géomembrane imperméable afin de limiter les infiltrations d'eaux pluviales, la volatilisation des polluants, le maintien/l'augmentation de la température. Les lixiviats sont en partie recyclés et en partie traités sur site avant d'être rejetés. Les rejets atmosphériques sont traités si nécessaire (présence de COV notamment).

La dégradation biologique est, la plupart du temps, réalisée par biostimulation. Les tas ne sont d'une manière générale pas d'une hauteur supérieure à 3 m (afin d'éviter le compactage).

Ce système, constitué de plusieurs éléments, est très complexe pour les pays comme le nôtre. Ces éléments constitutifs sont :

- Une plateforme de prétraitement (homogénéisation, criblage, amendement de matière organique ou structurante si nécessaire ...),
- Une plateforme de traitement fixe ou mobile sur des alvéoles imperméabilisées (béton ou PEHD-polyéthylène haute densité),
- matériel relatif à l'ajout de nutriments : cuve de stockage, système de mélange avec l'eau, réseau de récupération et de recirculation des lixiviats,
- matériel relatif à l'ajustement de l'humidité (drain, sprinkler, pompes ...),
- matériel nécessaire à l'aération (drain, pompes ...) ;
- si nécessaire, filière de traitement des gaz (traitement biologique ou biofiltre le plus souvent),

¹ 1€=656 FCFA

- matériel de contrôle de conditions du milieu : oxygénation du milieu, humidité, concentration des nutriments, température, densité de la population microbienne en place,
- stockage des résidus solides et liquides issus du traitement

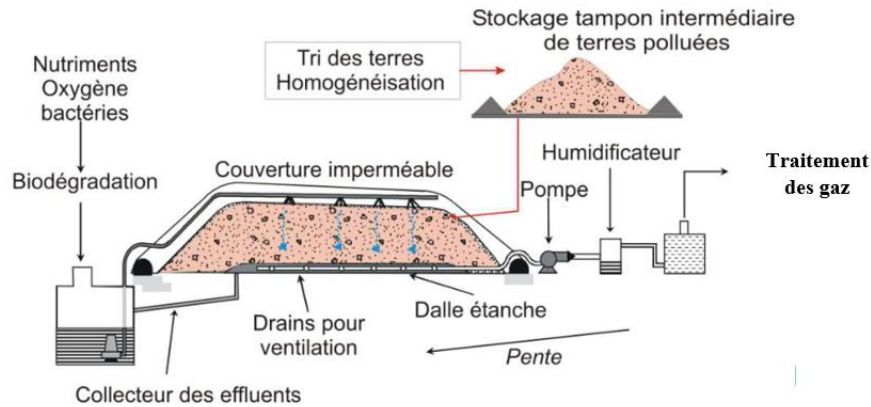


Figure 4: Schéma de principe du biotertre
(Source : rapport final de la BRGGM/RP-58609-FR de juin 2010)

Au regard des exigences pour la mise en œuvre de cette technologie, la ville de Douala est propice pour accueillir un pareil système, car son environnement industriel sied à ce type de traitement.

5.3.1.2.3. Coûts et délai

Le coût technologie varie de 30 à 70 €/t soit 19 680 à 45 920 FCFA/T pour les biotertres sur site et de 50 à 80 €/t soit 32 800 à 52 480 FCFA/T pour les biotertres hors site. À cet effet, pour le traitement des bois créosoté, le coût technologie hors transport et hors taxe sera compris entre 984 000 et 1 574 400 € soit 645 504 000 et 1 032 806 400 FCFA.

Ainsi, pour la mise en œuvre de cette méthode de traitement, il faudra ajouter au coût de la technologie les couts de transport, qui comprennent : le coût de transport des TBC des lieux de pré-stockage vers le lieu de stockage évalué à 94 120 785 FCFA et le coût de transport des TBC de Bélabo vers Douala évalué à 588 695 500 FCFA. Par conséquent, le coût total hors taxe du traitement des TBC par la méthode de Biotertre sera estimé entre 1 328 320 285 et 1 715 622 685 FCFA. Soit entre 2 024 879 et 2 615 279 €.

Les temps de traitement nécessaires varient de quelques semaines à plusieurs mois (18-24 mois).

5.3.1.3. Avantages et inconvénients de la bioremédiation

Avec un taux d'efficacité ou performance de 90 à plus de 99 %, cette méthode présente des avantages et inconvénients.

Comme avantages, nous avons :

- Méthode moins couteuse ;
- Méthode écologique.

Comme inconvénients, nous pouvons citer :

- Méthode complexe ;
- Durée de traitement relativement longue ;
- Méthode inadaptée dans notre contexte car cette technologie n'est pas encore disponible ;
- Propre pour des déchets en petites quantités ;
- Risque d'infection bactérienne

- Risque de pollution de l'air et l'eau

La mise en place de cette méthode nécessite la prise en compte des mesures appropriées sécuritaires, sanitaires et environnementales. Parmi ces mesures, nous pouvons citer :

- La mise en place des plans de gestions et de surveillance des résidus liquides, solides et gazeux
- Le port des EPI lors des phases de criblage, de construction des plateformes
- La mise en place des plans de gestions et de surveillance des résidus liquides et solides
- La mise en place des plans de contrôle des paramètres du milieu, du suivi de la production de CO₂
- La mise en place des mesures d'hygiène contre toute infection bactérienne etc.

De ce qui précède, la bioremédiation est donc une méthode d'intérêt d'un point de vue économique (entre 50 et 120 €/t soit 32 800 à 78 720 FCFA/T) et écologique (car les produits issus de cette méthode sont le CO₂, H₂O et les résidus liquides et solides sont non toxiques pour l'environnement). Le coût moyen de traitement des TBC par cette méthode hors taxe est évalué à **1 094 401 520 FCFA soit 1 668 295 €**.

De par sa complexité, sa technologie non existante au Cameroun, ce procédé de traitement des TBC n'est pas adapté dans notre environnement.

5.3.2. Remédiation chimique

C'est un procédé qui utilise le principe d'oxydation pour le traitement des sols pollués. Etant donné que la créosote est composée de plus de 90% des HAPs, son élimination sur les traverses de bois peut se faire par le principe d'oxydation chimique.

5.3.2.1. Principe

L'oxydation chimique des HAPs est également un moyen pour diminuer leur toxicité tout en modifiant leur structure en rendant les molécules biodégradables. L'oxydation chimique repose sur l'effet des agents oxydants tels que l'ozone (O₃), le Peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) et peut être combinée aux ultra-violets (ABIR OUESLATI, 2020). Les procédés d'oxydation permettent de transformer les polluants contenus dans les bois pollués en polluants non toxiques (plus stables, moins mobiles ou inertes). Le procédé repose donc sur un mélange intime entre les oxydants et les bois traités à la créosote.

5.3.2.2. Description de la méthode

Le procédé d'oxydation est composé de deux étapes distinctes et complémentaires :

- criblage, tamisage, séparation en spirales, unité de flottation, séparation gravitaire par sédimentation, filtration... Tout comme pour le tri granulométrique, le but est de séparer, autant que faire se peut, les fractions fines contenant la plus grande partie de la pollution;
- oxydation des polluants : elle a lieu dans des cuves agitées ayant pour but de mettre en contact les bois criblés pollués, l'eau et les réactifs (oxydants). Les réactifs usagés peuvent être dirigés vers une filière de traitement appropriée ou récupérés et réutilisés sur site.

Ce procédé permet d'aboutir à la destruction des polluants (aboutissant à la transformation en eau, gaz carbonique et sels) ou à la formation de sous-produits de dégradation généralement plus biodégradables ou moins toxiques. Très complexe pour les pays comme le nôtre, Il est constitué de plusieurs éléments. Ces éléments sont :

- une filière de prétraitement des bois pollués : pré-criblage ou calibrage, séparation, unité de désagrégation ou compacteur, criblage, tamisage...,
- des bandes transporteuses pour le convoyage des matériaux,

- une centrale de préparation : silos de stockage, malaxeurs de reprise, cuves avec agitateur, réservoirs de réactifs,
- des malaxeurs (chauffés si nécessaire),
- une pompe d'injection avec automate et enregistreur des paramètres (pression, volumes, débits, températures, pH, Eh ...),
- une filière de séparation des polluants/réactifs/solides/eau : hydrocyclonage, séparation en spirales, unité de flottation, séparation gravitaire par sédimentation, filtration
- une filière de récupération des réactifs,
- une zone de stockage temporaire de déchets et de terres en excédent,
- une filière de déshydratation des boues,
- si nécessaire, un système de captage de contrôle et de traitement des gaz (charbon actif, strippers,...)

Cette complexité est davantage plus prononcée en ceci qu'il faudra suivre les paramètres suivants :

- la consommation électrique,
- la granulométrie et les concentrations en polluants en entrée et en sortie des différentes unités de traitement,
- le bruit,
- la consommation en eau,
- la consommation et dosage des réactifs (coagulant, floculant),
- la consommation et dosage des réactifs d'oxydoréduction (oxydants/réducteurs),
- le contrôle des conditions d'opérations (pH, température, redox ...),
- les poussières,
- les concentrations en polluants dans les rejets atmosphériques si nécessaire (respect des normes de rejets) et les paramètres relatifs au traitement des gaz (débits, dépression, perte de charge, saturation des unités de traitement...),
- les concentrations en polluants dans les rejets liquides si nécessaire (respect des normes de rejets) et les paramètres relatifs au traitement des eaux (débits, pression, perte de charge, saturation du charbon actif...),
- les paramètres relatifs à la déshydratation des boues (pression, vide...).
- les paramètres relatifs à la récupération des réactifs.

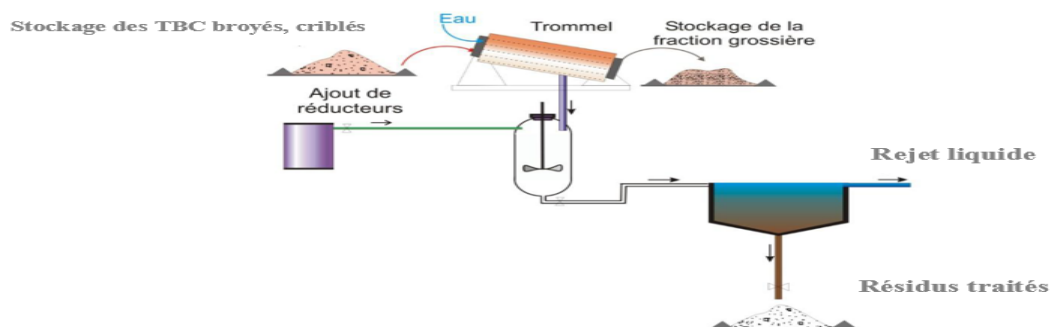


Figure 5: Schéma de principe du procédé de remédiation chimique
(Source : rapport final de la BRGGM/RP-58609-FR de juin 2010)

Au regard des exigences pour la mise en œuvre de cette technologie, la ville de Douala est propice pour accueillir un pareil système, car son environnement industriel sied à ce type de traitement.

5.3.2.3. Coûts et délai

Le coût technologie varie entre 40 et 120 €/t soit 26 240 et 78 720 FCFA. A cet effet, pour le traitement des bois créosotés, le coût technologie hors transport et hors taxe sera compris entre 785 080 et 2 355 240 € soit 515 012 480 et 1 545 037 440 FCFA.

Ainsi, pour la mise en œuvre de cette méthode de traitement, il faudra ajouter au coût de la technologie : le coût de transport des TBC des lieux de pré-stockage vers le lieu de stockage évalué à 94 120 785 FCFA et le coût de transport des TBC de Bélabo vers Douala évalué à 588 695 500 FCFA.

Par conséquent, le coût total hors taxe du traitement des TBC par la méthode de remédiation chimique sera estimé entre 1 197 828 765 et 2 227 853 725 FCFA. Soit un coût moyen de 1 712 841 245 FCA (2 611 039 €).

Il existe des unités de traitement fixes et mobiles capables de traiter plusieurs dizaines à plusieurs centaines de tonnes par jour.

5.3.2.4. Avantages et inconvénients

Avec un taux d'efficacité ou performance de 60 à plus de 99 %, cette méthode présente des avantages et inconvénients.

Comme avantages, nous avons :

- le traitement d'une grande quantité de polluants notamment des produits considérés comme récalcitrants ;
- le procédé relativement rapide ;
- le procédé adapté à des granulométries différentes ;

Comme inconvénients, nous avons :

- coûts d'investissement et de fonctionnement onéreux ;
- mise en place des unités de traitement des boues et des eaux;
- émissions atmosphériques et des nuisances sonores ;
- importante consommation en eau ;
- formation de composés intermédiaires dus à une oxydation incomplète de certains polluants.

La mise en place de cette méthode nécessite la prise en compte des mesures appropriées sécuritaires, sanitaires et environnementales compte tenu de son caractère dangereux pour éviter :

- les nuisances environnementales tels que : les odeurs désagréables le risque de pollution des eaux souterraines ; épuisement des ressources naturelles
- les risques d'accident (risque incendie, risque électrique, risque de chute etc)

Parmi ces mesures, nous pouvons citer :

- Le port des EPI (contre les émissions atmosphériques et sonores)
- La mise en place des plans de gestions et de surveillance des résidus liquides, solides et gazeux
- La mise en place des plans de gestion des risques (incendie, électrique, de chute, chimique etc.)
- Mise en place d'un responsable HSE
- Mise en place d'un plan de sui d'oxydation complète afin d'éviter toutes autres formations de composés intermédiaires.
- La mise en place d'un plan de réduction des consommations en eau et en électricité

De ce qui précède, la remédiation chimique est donc une méthode moins onéreuse (entre 40 et 120 €/t) et pas très écologique. Du fait de sa complexité, sa technologie non existante au Cameroun, ce procédé de traitement des TBC n'est pas adapté dans notre environnement.

5.3.3. Remédiation thermique (pyrolyse)

5.3.3.1. Principe

La pyrolyse repose sur le principe de dégradation de la biomasse à de hautes températures en absence d'oxygène.

5.3.3.2. Description de la méthode

La pyrolyse consiste à introduire bois traités à la créosote dans un four afin de les chauffer en l'absence d'oxygène à des températures comprises entre 150 et 600°C. Dans les faits, il est impossible d'obtenir une concentration en oxygène proche de 0 %, les techniques actuelles permettent néanmoins de travailler avec des concentrations en oxygène inférieures aux conditions stœchiométriques. La méthode de traitement est donc très proche de celle utilisée pour l'incinération, la différence réside dans le fait que les conditions d'opération sont réalisées à des températures plus basses et en présence de peu d'oxygène (cf. Figure 6).

Les bois traités à la créosote sont ainsi transformés en gaz et en un résidu solide. La pyrolyse provoque le « cracking » des polluants organiques en composés plus simples. Les gaz sont constitués de monoxyde de carbone, d'hydrogène, de méthane et d'hydrocarbures divers. La faible présence d'oxygène lors de la pyrolyse permet d'éviter la formation de sous-produits toxiques (par exemple, les dioxines). Les gaz sont récupérés en vue d'un traitement : élimination des particules (filtres, scrubbers) puis élimination des composés organiques et du monoxyde de carbone (brûleur, oxydation catalytique, seconde chambre de combustion, condenseur ou charbon actif).

Un résidu solide formé de cendres et de carbone (coke) ainsi que de verres et de métaux est récupéré. Il est soit valorisé par production d'électricité et de chaleur (thermolyse intégrée), soit lavé, soit éliminé en centre de stockage des déchets.

La pyrolyse génère trois produits : une fraction solide (biochar), une fraction liquide (biohuile) et une fraction gazeuse (gaz non condensable). De façon générale, il existe deux types de pyrolyse définis selon la température de pyrolyse, le temps de séjour et l'objectif de l'opérateur (rendement des produits de pyrolyse) :

- La pyrolyse lente, appelée aussi la pyrolyse conventionnelle ou traditionnelle. C'est un traitement lent, avec un temps de séjour variant de 5 à 30 min et à des températures relativement basses (200 – 500 °C). La pyrolyse lente favorise la production du biochar aux dépens des biohuiles à des températures inférieures à 300 °C.
- La pyrolyse flash ou (pyrolyse rapide), est un traitement thermique qui se fait à un temps de séjour très court de l'ordre de quelques secondes ou même inférieur à une seconde, à des températures élevées et inférieures à 600 °C (400 – 600 °C) et avec une vitesse de chauffage supérieure à 1000 °C/s.

Les produits de pyrolyse sont le biochar, les biohuiles ou huiles pyrolytiques et les gaz combustibles et leurs rendements dépendent des conditions du traitement (température et temps de séjour) et des propriétés de la matière première (granulométrie, nature et composition).

Le tableau 6 présente les différents modes de pyrolyse et les proportions des différents produits qui y en découlent.

Tableau 6: Les différents types de pyrolyse et la proportion de ses différents (Bridgwater, 2012)

Modes de pyrolyse	Conditions	Solide	Liquide	Gaz
Rapide	≈ 500 °C, court temps de séjour de la vapeur chaude ≈ 1 s	12% de char	75%	13%
Intermédiaire	≈ 500 °C, Temps de séjour de la vapeur chaude ≈ 10 – 30 s	25% de char	50% 2 phases	25%

Carbonisation (Lente)	≈ 400 °C, durée de séjour de la vapeur longue des journées	35% de char	30%	35%
Gazéification	≈ 750 – 900°C	10% char	5%	85%
Torréfaction (Lente)	≈ 290°C, temps de séjour de solide ≈ 10 - 60 min	80% char	0 – 5%	20%

Le biochar, fraction solide très riche en carbone, est utilisé aussi comme un élément fertilisant et permet d'améliorer les propriétés physiques du sol. Les huiles pyrolytiques ou biohuiles sont de couleur brun foncé et ont une composition proche de la biomasse d'origine. Elles présentent un rendement de 75% du bois anhydre. D'après l'agence internationale de l'énergie, elles ont une valeur énergétique de 17 MJ/kg, ce qui représente 42 % de la teneur en énergie du mazout (ABIR OUESLATI, 2020).

Lors d'une opération de pyrolyse, il faudra suivre les paramètres suivants :

- les concentrations en polluants dans les sols, les teneurs en matière organique, la granulométrie,
- la température, la turbulence, le temps de séjour,
- la dépression au niveau du four et flux aérauliques associés
- les concentrations en polluants dans les rejets atmosphériques (respect des normes de rejets),
- les paramètres relatifs au traitement des gaz (débits, dépression, perte de charge, saturation du charbon actif...),
- les teneurs en polluants en fin de traitement,
- les teneurs en polluants dans les lixiviats en fin de traitement.

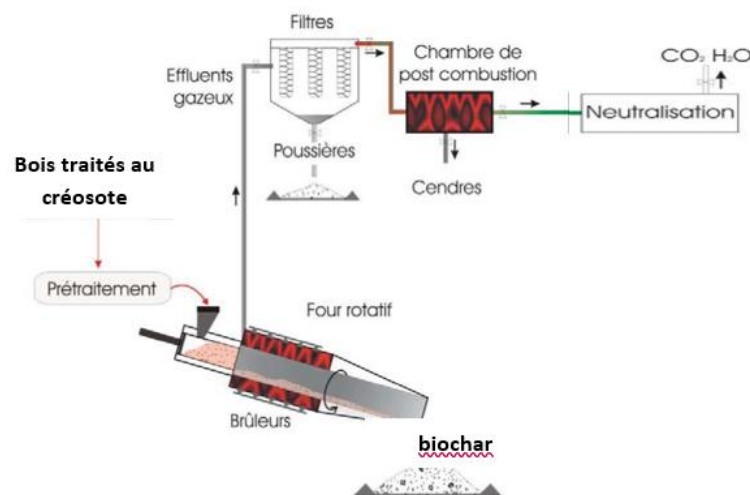


Figure 6: Schéma de principe de la pyrolyse
(Source : rapport final de la BRGGM/RP-58609-FR de juin 2010)

Au regard des exigences pour la mise en œuvre de cette technologie, la ville de Douala est propice pour accueillir un pareil système, car son environnement industriel sied à ce type de traitement.

5.3.3.3. Coûts et délai

Les coûts de traitement varient de 48 750 à 97 500 FCFA/T (selon le type de traitement : pyrolyse à thermolyse intégrée). À cet effet, pour le traitement des bois créosotés, le coût technologie hors transport et hors taxe sera compris entre 956 816 250 et 1 913 632 500 FCFA soit entre 1 458 561 et 2 917 123 €.

Ainsi, pour la mise en œuvre de cette méthode de traitement, il faudra ajouter au coût de la technologie : le coût de transport des TBC des lieux de pré-stockage vers le lieu de stockage évalué à 94 120 785 FCFA et le coût de transport des TBC de Bélabo vers Douala évalué à 588 695 500 FCFA. Par conséquent, le coût total de traitement sera estimé entre 1 639 632 535 et 2 596 448 785 FCFA. Soit un coût moyen de traitement de 2 118 040 660 FCA (3 228 721 €).

Certaines unités de traitement sont capables de traiter de 20 à 30 T/h.

5.3.3.4. Avantages et inconvénients

Avec un taux d'efficacité ou performance de plus 90 %, cette méthode présente des avantages et inconvénients.

Comme avantages, nous avons :

- technique très fiable et efficace,
- technique très rapide,
- revalorisation énergétique possible des sous-produits

Comme inconvénients, nous avons :

- les rejets atmosphériques qui doivent faire l'objet d'un traitement poussé et coûteux,
- coût onéreux du traitement
- considération dès le départ du projet des débouchés des sous-produits
- installations de traitement très lourdes
- procédé demandant à un haut niveau de technicité
- risque élevé d'incendie, d'explosion

Bien que déjà présente dans notre environnement à petite échelle, la méthode de pyrolyse nécessite la prise en compte de mesures appropriées sécuritaires, sanitaires et environnementales compte tenu de son caractère dangereux pour éviter :

- les nuisances environnementales tels que : la dégradation du paysage, les odeurs désagréables le risque de pollution des eaux souterraines ;
- les risques d'accident (risque incendie, risque de chute etc.)

Parmi ces mesures, nous pouvons citer :

- Le port des EPI (contre les émissions atmosphériques et sonores)
- La mise en place des plans de gestions et de surveillance des résidus liquides, solides et gazeux
- Mise en place des détecteurs fixes pour identifier rapidement toute fuite, et mettre en sécurité le personnel et les installations ;
- Mise en place des moyens appropriés de lutte contre l'incendie (extincteur, RIA)
- Mise en place d'un plan d'opération interne (POI) pour une intervention efficace en cas d'accident.

5.3.4. L'enfouissement

Méthode d'élimination des déchets la plus utilisée, l'enfouissement consiste à la mise en décharge des déchets selon une étude entreprise par l'OMS (Mohamed HAFID, 2015). C'est un procédé très viable qui doit se faire dans des centres d'enfouissement technique (CET). Ce centre devra prendre en compte des mesures appropriées pour éviter les nuisances environnementales tels que :

- La dégradation du paysage
- Les odeurs désagréables
- Le risque de pollution des eaux souterraines

- Le lieu de développement des insectes et d'autres agents et de propagateurs de maladies contagieuses
- Le risque d'incendie

Il existe actuellement trois types de CET qui réceptionnent trois différentes catégories de déchets :

- **CET de classe 1** : Pour déchets dangereux, toxiques (déchets industriels spéciaux traités et stabilisés, les cendres volantes des usines d'incinération, etc..).
- **CET de classe 2** : Pour déchets ménagers et assimilés (ordures ménagères, encombrants, déchets verts, déchets industriels banals, etc.)
- **CET de classe 3** : Pour les déchets inertes (déchets, déblais, gravats, etc...) issus d'entreprises du bâtiment et des travaux publics et de travaux de bricolage de particuliers.

Parmi ces trois types de CET, c'est celui de la classe 1 qui sera considéré dans le cadre de ce projet.

5.3.4.1. Critères de choix d'un CET (Philippe T.& all.,2005)

Le choix du site d'implantation d'un CET ne peut se faire de façon hasardeuse. Différents paramètres doivent être étudiés afin de s'assurer que le CET, une fois en exploitation et après fermeture, aura une incidence la plus faible possible sur l'environnement. Ainsi, il serait donc nécessaire de considérer d'emblée plusieurs sites potentiels, et d'en étudier en profondeur les caractéristiques afin de déterminer le site le plus approprié pour un CET.

Au premier abord, la recherche des sites potentiels doit considérer quelques priorités bien établies :

- Favoriser la stabilité (du point de vue géologique et hydrogéologique) à long terme des dépôts ;
- Tenir compte qu'une activité biologique est susceptible de se développer dans le CET.
- Éviter par conséquent les conditions qui pourraient entraîner des dérèglements de cette activité ;
- Éviter toute interaction entre le CET et l'environnement en protégeant notamment le réseau hydrographique et les réserves d'eau et en évitant la dispersion de gaz nocifs dans l'atmosphère ;
- Tenir compte de l'accessibilité du site ;
- Tenir compte de l'impact sur l'environnement humain et écologique.
- Tenir compte du volume disponible et utilisable.

Par la suite, les sites potentiels doivent être évalués selon des critères prédéfinis pour dégager leurs avantages et leurs faiblesses. Ces critères qui définiront les conditions minimales d'acceptation d'un site d'implantation pour un CET peuvent être :

- Perméabilité du sol (naturel ou après aménagements) inférieure ou égale à 10 m/s^{-1} sur une épaisseur minimum de 1 m.
- Ne pas implanter un CET dans une zone présentant une faiblesse géologique active (sismique, volcanique, etc.).
- Ne pas implanter un CET sur le bassin-versant d'une nappe phréatique exploitée ou exploitable dépourvue d'une isolation naturelle par rapport au terrain superficiel (1 m de sol de perméabilité 10^{-9} m/s).
- Ne pas implanter un CET dans une zone inondable ou en dessous du niveau de la mer
- Ne pas implanter un CET dans une carrière (exploitée ou abandonnée) autre qu'argilière.
- La distance entre le site et les habitations ou un site d'intérêt (naturel, historique, etc.) doit être supérieure à 100 m.
- La distance entre le site et les cours d'eau doit être supérieure à 100 m.
- La distance entre le site et les zones agricoles ou des voies et plans d'eau doit être supérieure à 50 m.

5.3.4.2. Aménagement d'un Centre d'Enfouissement Technique pour les déchets dangereux

Dans le passé, les déchets créosotés étaient principalement disposés dans des sites d'enfouissement des déchets solides municipaux ou des sites des déchets industriels non dangereux (ABIR OUESLATI, 2020). Cela représente un danger environnemental lié aux émissions des gaz à effet de serre, (dont 80 % du méthane produit lors de la décomposition de la biomasse enfouie), pollution des nappes phréatiques, des sols et des airs et humain (qualité du milieu). Considérés maintenant comme des déchets dangereux, ils doivent être éliminés dans des installations autorisées et règlementées attendu par Centre d'Enfouissement Technique (CET).

Le rôle majeur d'un CET est de séparer les déchets enfouis et leur environnement. Avant tout déversement de déchets, le CET afin de protéger l'environnement contre le lixiviat (danger pour les nappes phréatiques qui provient des cellules d'enfouissement pouvant atteindre 60 cm vers le sol) doit être isolé à la base et sur les flancs au moyen de couches de matériaux imperméables. Des systèmes de drainage doivent être également mis en place de façon à collecter les lixiviats et des puits de dégazage élevés afin de permettre la collecte et le traitement du biogaz produit. Cet aménagement comprend :

- **Aménagement de la base du CET**

Les barrières de sécurité qui sont disposées sur le terrain naturel à la base du CET, y compris les flancs lorsque celui-ci est de forme concave, ont pour fonction de protéger le sol et les nappes aquifères contre toute contamination par les lixiviats. On distingue deux types de barrières de sécurité : les barrières d'étanchéité statiques ou géomembranes en matière plastique et les barrières dynamiques ou argileuses. Le soin avec lequel le fond du CET devra être préparé dépend cependant des conditions du milieu. Incontournable, la mise en place d'une barrière argileuse, en sus des couches imperméables remplissant les conditions minimales d'implantation, peut être réalisée au moyen de matériaux naturels (argiles naturelles), de matériaux géocomposites (tels que les argiles gonflantes bentonitiques) ou d'un mélange des deux. La figure 7 ci-après montre un exemple de succession des couches de matériaux constituant l'aménagement de la base d'un CET de déchets ménagers.

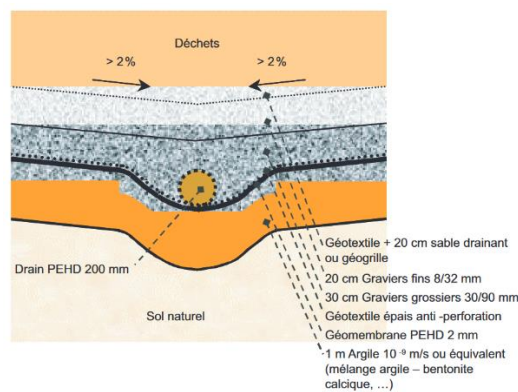


Figure 7: Exemple de succession des couches de matériaux constituant l'aménagement de la base d'un CET de déchets (Source : Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites d'enfouissement technique dans les pays du sud).

- **Système de collecte des lixiviats**

Les lixiviats sont produites par le passage des eaux de pluie à travers les déchets. Ces eaux polluées, contiennent des métaux, des nutriments, des sels, des acides organiques, des huiles et des graisses et des coliformes fécaux etc. Le but du système de collecte de lixiviats est de transporter le liquide en dehors du CET le plus rapidement possible afin d'éviter le colmatage des systèmes drainants et la mise en charge des systèmes d'étanchéité. Il faut donc être particulièrement attentif à leur production et leur dispersion afin d'empêcher toute contamination des eaux à proximité du terrain. Le système de captage des eaux de lixiviation doit être composé de trois éléments principaux : le réseau de couche de drainage, le système de pompage et le lieu de stockage. Ensuite, ces eaux devront être traitées dans une unité d'épuration locale avant d'être rejetés dans le milieu naturel.

- **Système de drainage du biogaz**

Le biogaz est constitué principalement de méthane (50 à 60%) et de dioxyde de carbone (30 à 40%). Le site d'enfouissement technique devra être pourvu d'un réseau de puits verticaux, régulièrement espacés à l'intérieur du CET et prolongés jusqu'à la couche de recouvrement final. Ces puits seront connectés à des tuyaux horizontaux qui acheminent le biogaz à un poste de brûlage avec torchère ou de valorisation énergétique, lorsqu'une telle installation est jugée rentable.

- **Couverture du CET**

De la même manière qu'il est important d'isoler le CET du sous-sol naturel, il est nécessaire d'isoler de façon durable la partie aérienne du massif de déchets enfouis. Cette couverture sert non seulement à isoler les déchets de la population et de l'environnement, mais aussi de protection contre l'érosion, de « parapluie » permettant de réduire l'infiltration d'eaux pouvant augmenter la quantité de lixiviats. La réalisation de la couverture sera à plus d'un titre similaire à l'aménagement de la base du CET mais en présentant une succession inversée des différentes couches de matériaux (figure 8)

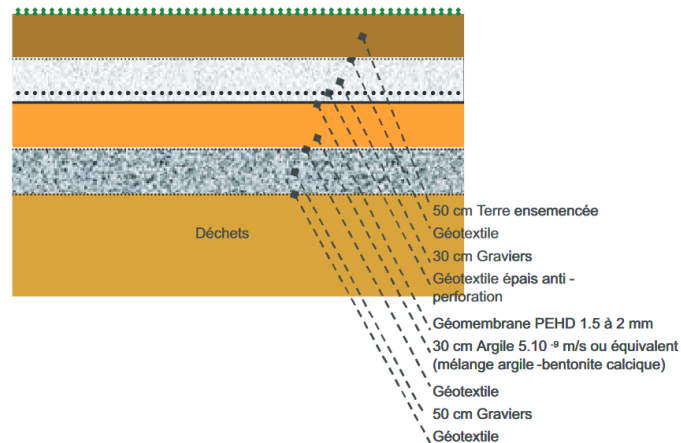


Figure 8: Couches de couverture du CET

(Source : Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites d'enfouissement technique dans les pays du sud)

Le consultant recommande Bélabo comme lieu de mise en œuvre de cette méthode de traitement des TBC.

5.3.4.3. Estimation des dimensions pour le CET des bois traités à la créosote

Le dimensionnement proposé est fonction des dimensions de traverses fourni par CAMRAIL.

- **Surface du CET**

La surface du CET sera pratiquement la même que celle de l'entrepôt des TBC. Le tableau 5 ci-après illustre cette surface.

Le tableau ci-après détermine la surface nécessaire du CET.

Tableau 7: Superficie minimale pour l'enfouissement des TBC

Nombre de traverses	Dimensions/traverse	m ³ /traverse	m ³ total	Hauteur d'empilement (m)	Surface stricte (m ²)
297 467	195 cm x 22 cm x 13 cm	0,0558	16 599		3 348

La surface minimale du CET est donc **3 496 m²**.

- **La profondeur du CET**

Elle est fonction de la hauteur d'empilement des traverses (H1), de la hauteur des couches d'aménagement de la base (H2) et de la hauteur des couches de couverture (H3). Ainsi, nous avons : $P = H1 + H2 + H3$. Avec donc :

$H1 = 4,75$; $H2 = 1,7$ et $H3 = 1,6$ la profondeur minimale P de notre CET sera de **8,05 m**

5.3.4.4. Estimation du coût de construction du fossé d'enfouissement des TBC

Le tableau 8 propose une estimation des coûts de construction d'une fosse d'enfouissement sur une surface maximale de 5000 m². Le prix du volume de terrassement par mètre cube est de 60 € (tarifartisan.fr), soit 39 360 FCFA.

Tableau 8: Estimation des coûts construction d'une fosse d'enfouissement des TBC

Surface (m ²)	Profondeur (m)	Volume de terrassement en m ³	FCFA/m ³ Hors taxe	Coût FCFA Hors taxe
5000	8,05	40 250	39 360	1 584 240 000

Le coût de réalisation du fossé d'enfouissement des traverses contaminées à la créosote serait de **1 584 240 000 FCFA**. Ce prix ne contient pas les prix des appareils à mobiliser, et des actives connexes.

Ainsi, pour la mise en œuvre de cette méthode de traitement, il faudra ajouter au coût de la technologie le coût de transport des TBC des lieux de pré-stockage vers le lieu de stockage évalué à 94 120 785 FCFA. Par conséquent, le coût total hors taxe du traitement des TBC par enfouissement est estimé à 1 678 360 785 FCA soit 2 558 476,81€.

5.3.4.5. Avantages et inconvénients

Comme avantages, cette méthode est moins couteuse que certaine comme la pyrolyse, l'incinération, elle est facile à réaliser. Comme inconvénients, elle nécessite un contrôle permanent des barrières étanches permettra d'une part de s'assurer que la géomembrane ne présente aucune fuite et de l'autre part de contrôler la qualité des eaux de lixiviation traitées qui seront rejetées, un traitement des lixiviats, un contrôle de la qualité de l'air. Toutes ces contrôles doivent se poursuivre après la fermeture, car la production de lixiviats et de biogaz seront encore effectives.

Bien que déjà présente dans notre environnement à petite échelle, la méthode d'enfouissement nécessite la prise en compte des mesures sanitaires et environnementales telles que :

- les nuisances environnementales tels que : la dégradation du paysage, les odeurs désagréables le risque de pollution des eaux souterraines ;
- les risques d'accident lors de la construction des CET.

Parmi ces mesures, nous pouvons citer :

- la mise en place des plans de gestions et de surveillance des résidus liquides, solides et gazeux ;
- mise en place des détecteurs fixes pour identifier rapidement toute fuite, et mettre en sécurité le personnel et les installations ;
- veiller à la mise en place des moyens appropriés de lutte contre la pollution des sols et eaux souterraines par les lixiviats ;
- veiller à la mise en place des moyens appropriés de lutte contre la pollution de l'air par le biogaz ;
- mise en place des mesures de préventions et de protection lors de la construction du CET ;
- mettre en place des mesures contrôles du milieu.

5.3.5. L'incinération

5.3.5.1. Principe

L'incinération est une des techniques de traitement les plus anciennes. Son principe repose sur une combustion aérobie (en présence d'air) dans un four où les températures sont importantes (870 à 1 200 °C). Ces hautes températures détruisent les polluants ou les volatilisent.

5.3.5.2. Description

L'incinération est un procédé de traitement thermique des déchets avec excès d'air. Ce procédé consiste à brûler des déchets dans des fours adaptés à leurs caractéristiques. Le but de l'incinération des déchets est de les traiter pour réduire leur volume, et aussi les risques qu'ils peuvent représenter, tout en captant (et donc en concentrant) ou en détruisant des substances potentiellement dangereuses qui sont, ou qui pourraient être, rejetées pendant l'incinération.

Généralement, l'incinération se décompose en deux phases :

- une première chambre dans laquelle les polluants organiques sont désorbés et volatilisés (température > 400 °C),
- une seconde chambre de combustion dans laquelle les polluants organiques sont détruits (température > 1 000 °C).

On peut caractériser des installations d'incinération de déchets par les étapes suivantes : arrivée du déchet, stockage, prétraitement, récupération incinération/énergie, lavage des gaz de combustion, gestion des résidus solides, et traitement des eaux usées. Toutefois, la nature des déchets à l'arrivée a une grande importance lors de la conception de chaque composant de l'incinérateur, et pendant leur opération.

Dans un four rotatif, des solides, des boues et des déchets pompables, ou en fûts, sont introduits du côté supérieur du four incliné. Les températures dans le four varient en générale entre 850°C (500°C quand utilisé en tant que gazéificateur) et 1'450°C (comme un four de fusion de cendres à haute température). La rotation lente du tambour permet un temps de résidence de 30 à 90 minutes. On peut considérer que des températures de 850°-1'000°C sont suffisantes pour la destruction de déchets non halogénés, tandis que de 1'000° à 1'200°C sont suffisantes pour détruire des composés halogénés, c'est-à-dire, des PCDD/PCDF, PCB et HCB. La chambre de combustion secondaire, après le four, permet l'oxydation des gaz de combustion. Les gaz venant du four rotatif sont traités dans cette chambre afin de satisfaire aux exigences des conditions de combustion décrites dans la Directive EU 2000/76/EC sur l'incinération des déchets (INERIS, 2000).

D'une manière globale, l'incinération représente un danger environnemental à la suite de la production des gaz à effet de serre ainsi que d'autres composants toxiques dans l'atmosphère (Olivier, 2002). L'incinération à elle seule a contribué à la production de 710 kg des HAPs dans l'environnement en 2018 (ERNIC, 2020). Pour un meilleur rendement, l'installation doit être munie d'équipements d'épuration des gaz qui soient fonctionnels et efficaces, permettant de respecter les exigences applicables.

Il existe plusieurs types d'incinérateurs tels que l'incinérateur à four rotatif, l'incinérateur à grille, l'incinérateur à lit fluidisé. Pour l'incinération de déchets dangereux, on utilise le plus souvent des fours rotatifs (figure 9).

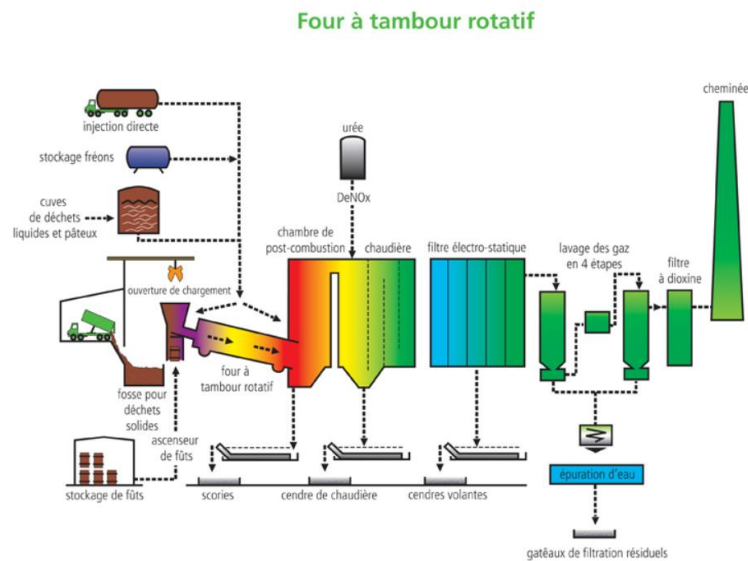


Figure 9: Schéma d'un système d'incinération à four rotatif
(Source : www.indaver.com/be-fr/installations-processes)

Compte tenu de la technologie de la méthode d'incinération, le consultant recommande Douala comme lieu de traitement en cas de mise en œuvre de cette méthode car, son environnement industriel sied à sa mise en œuvre.

5.3.5.3. Coûts et délai

Les durées de traitement dans l'unité de désorption ne durent que quelques minutes à quelques dizaines de minutes. Les unités de traitement modernes sont capables de traiter plusieurs dizaines de tonnes/heure.

Les coûts de traitement en centres fixes sont de l'ordre de 190 à 305 €/T (hors coûts de transport) soit de 124 640 à 200 080 FCFA/T voir jusqu'à 688 800 FCFA.

A cet effet, pour le traitement des bois créosotés par cette méthode, le coût technologique hors transport et hors taxe sera compris entre 2 446 309 280 et 3 926 970 160 FCFA soit entre 3 729 130 et 5 986 235 €.

Ainsi, pour la mise en œuvre de cette méthode de traitement, il faudra ajouter au coût de la technologie : le coût de transport des TBC des lieux de pré-stockage vers le lieu de stockage évalué à 94 120 785 FCFA et le coût de transport des TBC de Bélabo vers Douala évalué à 588 695 500 FCFA. De ce fait, le coût total de traitement sera estimé entre 3 129 125 565 et 4 609 786 445 FCFA. Par conséquent, le coût moyen hors taxe du traitement des TBC par la méthode d'incinération serait de 3 869 456 005 FCA soit 5 898 561 €.

5.3.5.4. Avantages et inconvénients

Avec un taux d'efficacité ou performance le plus élevé des méthodes de 99.99 %, cette méthode présente des avantages et inconvénients.

Comme avantages, nous avons :

- technique très efficace et très fiable ;
- technique très rapide ;
- réduction des déchets à 99.99%
- valorisation énergétique
- adaptation aux gros gisements

Comme inconvénients :

- les rejets atmosphériques doivent faire l'objet d'un traitement poussé et coûteux,
- technique la plus onéreuse parmi les méthodes de traitement
- les débouchés des sous-produits doivent être considérés dès le départ du projet car ils peuvent poser des problèmes non négligeables
- très haut niveau de technicité nécessaire
- traitement poussé et coûteux des rejets atmosphériques
- Émission de CO2 importante lié au processus d'incinération.

Compte tenu de son caractère dangereux, la méthode d'incinération nécessite la prise en compte des mesures sécuritaires, sanitaires et environnementales pour éviter :

- les nuisances environnementales tels que : les odeurs désagréables, le risque de pollution des eaux de surface et souterraines ; risque pollution de l'atmosphère,
- les risques d'accident (risque incendie, risque de chute, risque mécanique, chimique etc)

Parmi ces mesures, nous pouvons citer :

- le port obligatoire des EPI (contre les émissions atmosphériques et sonores)
- la mise en place des plans de gestions et de surveillance des résidus liquides, solides et gazeux
- la mise en place des mesures de prévention et de protection contre les risques incendie, explosion, de brûlure
- la veille du strict respect des mesures HSE
- la formation du personnel sur les risques
- la sensibilisation et rappel des règles de sécurité.

Malgré son coût élevé, ce procédé de traitement est réalisé et très maîtrisé dans notre contexte. L'entreprise BOCOM utilise ce procédé pour le traitement des déchets dangereux. Elle est la première entreprise Camerounaise spécialisée dans le traitement et l'incinération des déchets. Elle dispose d'un permis environnemental. Pour mener à bien ses activités et satisfaire parfaitement la clientèle, la société dispose :

- de trois Incinérateur (HP 1000, DH -500 et HP 500) équipés de système de traitement de fumés conforme aux normes internationales en vigueur ;
- de plusieurs camions pour la récupération des déchets ;
- d'un laboratoire d'analyse (Air ambiant, fumé de chaudière, eau de rejet et de consommation, sols souillés, lubrifiant, super, gaz, etc...) agréé par le Ministre de l'Industrie ;
- d'une unité de recyclage des vieilles batteries et des huiles usées ;
- d'une unité de valorisation du plastique usagé ;
- d'une centrifugeuse pour le recyclage de l'huile usagée ;
- d'une unité de traitement des eaux souillées ;
- des matériaux performants pour le nettoyage des cuves.

5.3.5.5. Technique utilisée par BOCOM

Le processus d'incinération de BOCOM est caractérisé par l'existence d'une chambre combustible donc la température varie entre 700°C et 900°C et d'un post combustion qui varie entre 900°C et 1200°C. Après une chute de température à l'aide d'une chaudière de refroidissement, commence le système de traitement de gaz à l'aide des réactifs appropriés à cet effet. Les particules sont captées grâce aux filtres céramiques : et avant la cheminée se trouve sonde d'analyse et d'enregistrement de gaz qui respecte les normes indiquées. La chaleur générée par l'incinérateur passe par un système de tuyauterie alimentant les cuves de stockage des huiles usées ; cette chaleur sert par suite à réchauffer les huiles contenues dans ces sillons serpentés avant le traitement final par la centrifugeuse.

La capacité des incinérateurs actuellement disponibles à BOCOM est extrêmement faible pour pouvoir traiter l'énorme quantité de TBC qui sera retirée du chemin de fer entre Bélabo et Ngaoundéré. De nouveaux incinérateurs de grandes capacités seront donc nécessaires pour pouvoir traiter les TBC du projet.

5.3.5.6. Estimation des coûts d'incinération des TBC par BOCOM

Le tableau suivant illustre le coût minimal de l'incinération des TBC chez BOCOM.

Tableau 9: Estimation des coûts de traitement des TBC par incinération de BOCOM

Quantité de traverses traitées	Masse totale des traverses (66 kg/traverse)	Prix total hors taxe (1000 fcfa/kg)
297 467	19 632 822	19 632 822 000

(Source : le rapport provisoire EIES du 09 avril 2021 sur l'étude de faisabilité et avant-projet sommaire pour le renouvellement de la ligne ferroviaire Douala- Yaoundé)

Pour donc incinérer 297 467 traverses de bois traités à la créosote, il faudrait dépenser au minimum **19 632 822 000 FCFA soit 29 928 082.32 €**.

Ainsi, en tenant compte du prix d'incinération local, le coût de mise en œuvre de traitement des TBC par incinération est estimé à **20 315 638 285 FCFA soit 30 968 960,80 €**. Ce coût prend en compte le coût de transport des TBC des lieux de pré-stockage vers le lieu de stockage évalué à 94 120 785 FCFA et le coût de transport des TBC de Bélabo vers Douala évalué à 588 695 500 FCFA.

5.3.6. Remédiation mécanique

Le procédé utilisé consiste à séparer au niveau des sites de traitement par sciage/rabotage/déchetage la partie imprégnée des traverses en bois afin d'éliminer l'épaisseur de bois à forte concentration en créosote qui devra ensuite être traité par l'une des méthodes de traitement ci-dessus. La partie du bois non traité pourra être valorisée en madrier, combustible, etc.

Le sciage/rabotage/déchetage des TBC doit être fait dans des installations équipées d'aspirateurs pour des raisons de sécurité des employés et afin de minimiser les rejets dans l'environnement.

5.3.7. Comparaison des méthodes de traitement présentées

La comparaison s'est faite suivant les critères ci-après :

- Adaptabilité (A) : ce critère permet d'apprécier l'existence des différentes méthodes et leurs capacités à s'appliquer de manière convenable et intelligible dans notre contexte. Ainsi une méthode sera dite adaptable si elle existe déjà, s'il existe des compétences locales, que son expertise de mise en œuvre est maîtrisée, qu'elle peut s'intégrer facilement dans notre environnement biophysique et socio-économique et qu'elle est indiquée pour le traitement de ces déchets.
- Coût d'investissement (C) : il permet d'apprécier toutes les charges à prendre en compte dans la mise en œuvre des différentes méthodes ;
- Écologique (E) : il permet d'évaluer le degré de dangerosité des méthodes pour les différentes composantes de l'environnement.

Ainsi, pour chacun de ses critères, une matrice de cotation a été conçue pour l'évaluation des méthodes.

La comparaison s'est faite suivant les critères ci-après : adaptabilité (A), coût d'investissement (C), écologique (E).

Ainsi, pour chacun de ses critères, une matrice de cotation a été conçue pour l'évaluation des méthodes.

- Pour la matrice d'adaptabilité

Tableau 10: Matrice de cotation de l'adaptabilité

Adaptabilité (A)	Cotation	Commentaires
Pas adaptable	1	La méthode n'est pas adaptable dans notre contexte
Adaptable	3	La méthode est adaptable dans notre contexte
Très adaptable	5	La méthode est très adaptée, elle se fait même déjà

- Pour la matrice coût d'investissement

Tableau 11: Matrice de cotation des coûts

Coût (C)	Cotation	Commentaires
Très onéreux	1	La méthode est très onéreuse lorsque le coût est supérieur 2 000 000 000 FCFA
Onéreux	3	La méthode est onéreuse si le coût est compris entre 1 500 000 000 et 2 000 000 000
Moins onéreux	5	La méthode est moins onéreuse si le coût est inférieur à 1 500 000 000

- Pour la matrice écologique (E)

Tableau 12: Matrice de cotation écologique

Écologique (E)	Cotation	Commentaires
Moins écologique	1	La méthode est moins Écologique si lors de son traitement des particules émises pouvant porté atteinte à l'environnement et la santé humaine ne sont pas contrôlées.
Écologique	3	La méthode est Écologique si lors de son traitement des particules émises pouvant porté atteinte à l'environnement et la santé humaine peuvent être contrôlées
Très Écologique	5	La méthode est très Écologique si elle ne produit pas des particules pouvant porter atteinte à la santé humaine et l'environnement

Tableau 13: Matrice d'évaluation des méthodes de traitements

Adaptabilité (A) \ Écologique (E)	1	3	5	Coût (C)
1	1	3	5	1
3	9	27	45	3
5	25	75	125	5

Une fois les méthodes évaluées, elles seront hiérarchisées suivant la caractérisation présentée dans le tableau suivant :

Tableau 14: Matrice d'hierarchisation des méthodes par priorité

Valeur	Couleur
Très favorable	Vert
Favorable	Jaune
Moins favorable	Rouge

Le tableau 15 évalue et analyse en fonction des critères d'adaptabilité, de coût et écologique les différentes techniques de traitement des traverses de bois traitées à la créosote.

Tableau 15: Évaluation et analyse des différentes techniques de traitement des TBC

					Valeur des méthodes présentées			
Méthodes	Description/ Principe	Condition	Avantages	Inconvénients	Technologie (adaptable)	Écologique	Coût de la mesure (coût de traitement + coûts de transport	Valeur résiduelle de la méthode (Très favorable, Favorable, Moins favorable)
Enfouissement	Ancienne méthode de déversement des déchets ménagers et industriels généralement répartis en fines couches puis recouverts de terre.	La protection des sols et des eaux souterraines doit être assurée par des surfaces étanches (béton, asphalte) ou de toute autre manière conçue de manière à éviter que des eaux ou des produits qui pourraient lixivier du bois entreposé ne soient mis en contact avec le sol ni ne puissent migrer vers les eaux souterraines.	Moins couteux que l'incinération et la pyrolyse	Nécessite un contrôle et suivi permanent Très contraignante	5	1	3	15
Incinération	La filière majoritaire de gestion des déchets de bois traité, c'est le passage des TBC dans des fours équipés de filtres spéciaux et qui chauffent à plus de 850 degrés pour détruire un	- Réserve exclusivement à des installations industrielles qui peuvent assurer des conditions de combustion et d'épuration adéquates, qui favorisent une destruction des composés organiques et un contrôle des émissions de métaux.	Valorisation énergétique : consiste à utiliser le potentiel énergétique du bois pour remplacer une partie du combustible classique tel que le charbon, l'huile ou le gaz naturel ; Création de la chaleur ou de l'électricité	Investissements élevés Coûts de fonctionnement en forte croissance : Très haut niveau de technicité nécessaire	5	3	1	15

					Valeur des méthodes présentées			
Méthodes	Description/ Principe	Condition	Avantages	Inconvénients	Technologie (adaptable)	Écologique	Coût de la mesure (coût de traitement + coûts de transport	Valeur résiduelle de la méthode (Très favorable, Favorable, Moins favorable)
	maximum de polluants.	<p>- Le bois traité doit être introduit directement dans la flamme ;</p> <p>- l'installation de combustion doit avoir une puissance nominale ou une capacité calorifique nominale, selon le cas, égale ou supérieure à 3 MW ;</p> <p>- la température utilisée pour détruire la majorité des composés organiques pour ce procédé s'étend entre 900 et 1300 °C.</p> <p>- l'installation doit être munie d'équipements d'épuration des gaz qui soient fonctionnels et efficaces, permettant de respecter les exigences applicables ;</p> <p>L'installation doit permettre l'analyse des matières premières entrant dans le système et être munie d'une aire</p>	<p>(valorisation énergétique des déchets) ou comme carburant pour des procédés internes (utilisé au lieu du charbon) dans des fours de cimenterie.</p> <p>Adaptation aux gros gisements</p> <p>Rapidité de traitement</p> <p>Réduction des déchets à 99.99%</p>	Traitement poussé et coûteux des rejets atmosphériques				

					Valeur des méthodes présentées			
Méthodes	Description/ Principe	Condition	Avantages	Inconvénients	Technologie (adaptable)	Écologique	Coût de la mesure (coût de traitement + coûts de transport	Valeur résiduelle de la méthode (Très favorable, Favorable, Moins favorable)
		d'entreposage conforme aux exigences.						
Bioremédiation	Éliminer/réduire la concentration de la créosote dans le bois, ou encore de transformer des composés toxiques en métabolites moins dangereux et moins complexes	<p>Ces procédés font recours principalement à des champignons de pourritures blanches qui dégradent les matériaux lignocellulosiques et peuvent, ainsi, éliminer la créosote en 44 jours et plus.</p> <p>Les algues et les champignons sont aussi capables de dégrader ces xénobiotiques (molécule chimique polluante et parfois toxique) par l'intermédiaire des enzymes extracellulaires qui sont produites. Ces champignons sont capables de croître même sous des conditions de stress environnemental. La dégradation de la créosote est meilleure avec <i>Postreatus</i> que</p>	<p>Très écologique</p> <p>Moins couteuse</p>	<p>Les quantités à détruire constituent une contrainte technique sérieuse pour réunir toutes les conditions requises.</p> <p>Procédé très lente</p> <p>Bioterte et bioréacteur pas encore expérimentés au Cameroun</p>	1	3	3	09

					Valeur des méthodes présentées			
Méthodes	Description/ Principe	Condition	Avantages	Inconvénients	Technologie (adaptable)	Écologique	Coût de la mesure (coût de traitement + coûts de transport	Valeur résiduelle de la méthode (Très favorable, Favorable, Moins favorable)
		lacteus. Il faut noter que l'efficacité de ce traitement dépend des conditions environnementales telles que le pH, la température, l'oxygène, la population microbienne et le degré d'acclimatation.						
Remédiation chimique	Elimination chimique des HAP se fait par adsorption par le charbon activé	Le charbon activé est caractérisé par une forte adsorption des hydrocarbures polycycliques et les composés halogénés. L'oxydation chimique des HAPs est également un moyen pour diminuer leur toxicité tout en modifiant	Destruction des polluants ; Traitement d'une grande quantité de polluants notamment des produits considérés comme récalcitrants ; Procédé est relativement rapide	Protocole accès complexe et propre aux pays développés le procédé est onéreux en termes de coûts d'investissement et de fonctionnement ; Des études poussées d'applicabilité sont nécessaires ; Les émissions atmosphériques et les nuisances sonores peuvent être importantes ;	1	3	3	09

					Valeur des méthodes présentées			
Méthodes	Description/ Principe	Condition	Avantages	Inconvénients	Technologie (adaptable)	Écologique	Coût de la mesure (coût de traitement + coûts de transport	Valeur résiduelle de la méthode (Très favorable, Favorable, Moins favorable)
				Consommation électrique et en eau importante ;				
Remédiation thermique (Pyrolyse)	La pyrolyse repose sur le principe de dégradation de la biomasse à de hautes températures (200 – 600 °C) en absence d'oxygène	<ul style="list-style-type: none"> - Un traitement lent, avec un temps de séjour variant de 5 à 30 min et à des températures relativement basses (200 – 500 °C). La pyrolyse lente favorise la production du biochar aux dépens des biohuiles à des températures inférieures à 300 °C. - un traitement thermique qui se fait à un temps de séjour très court de l'ordre de quelques secondes ou même inférieur à une 	<p>L'utilisation de la pyrolyse sera une alternative de valorisation très intéressante pour le bois traité à la créosote.</p> <p>Revalorisation énergétique possible des sous-produits solides : elle permet d'avoir le biochar (composé riche en carbone et utilisable comme fertilisant), les biohuiles (utilisables comme des bio-carburant)</p>	<p>Les rejets atmosphériques doivent faire l'objet d'un traitement poussé et coûteux,</p> <p>Les débouchés des sous-produits doivent être considérés dès le départ du projet car ils peuvent poser des problèmes non négligeables</p> <p>Le procédé demande un haut niveau de technicité et des installations de traitement très lourdes</p>	5	3	1	15

					Valeur des méthodes présentées			
Méthodes	Description/ Principe	Condition	Avantages	Inconvénients	Technologie (adaptable)	Écologique	Coût de la mesure (coût de traitement + coûts de transport	Valeur résiduelle de la méthode (Très favorable, Favorable, Moins favorable)
		seconde, à des températures élevées et inférieures à 600 °C (400–600 °C) et avec une vitesse de chauffage supérieure à 1000 °C/s	Technique éprouvée ayant démontré une grande fiabilité et des résultats extrêmement significatifs, Technique rapide,					

De ce tableau, il en ressort qu'aucune des méthodes d'élimination des TBC présentées ci-dessus n'est écologiquement et économiquement réalisable actuellement au Cameroun.

Cependant, compte tenu des dispositions importantes de l'arrêté du 18 décembre 2018 relatif à la restriction d'utilisation et de mise sur le marché de certains bois traités, et de la charte d'engagement volontaire relative à la gestion et l'élimination des poteaux et des traverses en bois traitées à la créosote en France, signée le 19 décembre 2018, qui relèvent que :

- la mise sur le marché et l'installation de bois traité est interdite, sauf dérogation ;
- tout bois traité usagé est un déchet dangereux ;
- le bois traité ne peut être ni réemployé, ni affecté à un autre usage par la personne qui l'a utilisé ;
- la réutilisation, le recyclage, la valorisation, hormis la valorisation énergétique, de déchets de bois traité sont interdits ;
- tout déchet de bois traité doit être traité dans une installation de traitement thermique avec valorisation énergétique.

Et Compte tenu du coût élevé de la mise en œuvre du traitement des TBC à travers le processus d'élimination thermique, nous recommandons le stockage provisoire des TBC à long terme, en attendant que le Maître d'Ouvrage trouve une solution idoine pour le l'élimination des TBC qui seront produits dans le cadre du projet.

6. MESURE ALTERNATIVE : STOCKAGE PROVISOIRE DES TBC À LONG TERME

Le Maître d'Ouvrage et le Maître d'Ouvrage Délégué continueront les recherches en vue de trouver une solution définitive de traitement des TBC issues du Projet. Des traitements expérimentaux de traverses pourraient être entrepris par CAMRAIL, dans le processus de recherche d'une méthode de traitement définitif des TBC. En attendant l'aboutissement de ces recherches, les TBC seront stockées dans des entrepôts sur du long terme.

Ainsi, les TBC ne seront plus uniquement entreposées à Bélabo, mais sur l'ensemble du corridor Bélabo – Ngaoundéré. Ces plateformes d'entreposage qui pourront se faire sur du très long terme nécessitent des dispositions technologiques, environnementales, sociales, sanitaires et sécuritaires adaptées. Pour un meilleur stockage, la localisation des aires de stockage devant abriter ces différents entrepôts est primordiale. Car ces aires devront être respectueuses de l'environnement, et garantir un environnement de travail sécurisé.

6.1. Localisation et dispositions des aires de stockage

Le but de ces aires est le tri et le stockage du matériel déposé. La voie étant déposée en panneaux, ceux-ci sont chargés sur des wagons (plateforme) et acheminés vers les aires de stockage pour y être déchargés. Après avoir été déchargés, les panneaux de voie sont démontés et les différentes pièces sont rangées après un tri dans des endroits prévus à cet effet pour chaque type de matériel de voie.

Les aires de stockage sont dimensionnées pour accueillir le matériel mis en voie et le matériel mis en dépôt.

On devrait donc avoir dans une aire :

a) Voie courante :

- Une voie où on pourra garer le train travaux pour le déchargement des plateformes ;
- Un engin de levage (Hyster ou Manitou) ;
- Une zone d'entreposage des panneaux ;
- Une zone de démontage des panneaux et de tri des différents types de matériel de voie ;

- Des zones de stockage du matériel de voie, dont deux zones pour chaque type de matériel : réutilisable ; non-réutilisable (Rails, Traverses en bois, Traverses métalliques, Attaches, Eclisses, Boulons d'éclisses)

b) Appareils de dilatation (AD)

- Une zone d'entreposage des appareils de dilatation (AD) ;
- Une zone de démontage des AD et de tri des différentes pièces ;
- Des zones de stockage des pièces démontées dont deux zones pour chaque type de pièce : réutilisable ; non-réutilisable (Pièces de bois, Ferrures, Attaches, Éclisses, Boulons d'éclisses)

c) Pour les appareils de voie (ADV)

- Une zone d'entreposage des appareils de voie (ADV) déposés ;
- Une zone de démontage des ADV et de tri des différentes pièces ;
- Des zones de stockage des pièces démontées dont deux zones pour chaque type de pièce : réutilisable ; non-réutilisable (Pièces de bois, Traverses métalliques, Ferrures, Attaches, Eclisses, Boulons d'éclisses)

Les sites des aires de stockage seront idéalement situés dans des gares ou dans l'emprise ferroviaire et ils seront desservis en outre d'une voie ferroviaire pour le garage des wagons chargés des panneaux de voie déposés.

Les aires de stockage sont choisies sur la base des critères suivants :

a) Dans les gares :

- Là où il y a un espace libre où on peut décharger, trier et stocker le matériel à proximité duquel se trouve une voie qui n'est pas trop sollicitée par Camrail (Bélabo et Ngaoundal) ;
- Là où il y a un espace libre où on peut décharger, trier et stocker le matériel à proximité duquel ne se trouvent pas de voie et où la pose d'une voie est possible.

b) Entre les gares :

- Là où il n'y a pas de maison d'habitation ;
- Là où il n'y aura pas d'impact environnemental et social potentiel significatif ;
- Là où la configuration du terrain n'impose pas de grands terrassements ;
- Là où des voies supplémentaires pourront éventuellement y être aménagées pour permettre le garage et la manœuvre du train de travaux ; elles devront avoir une longueur minimum de 500 mètres.

Le tableau de la page suivante donne une distribution des aires de stockage retenues.

➤ **Bases travaux et Croisements**

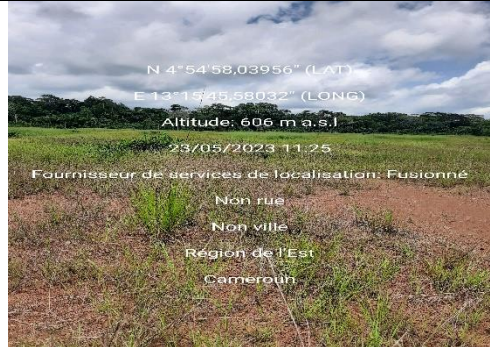
Les différentes bases des équipes qui effectueront les travaux seront situés aux environs des aires de stockage où seront garés les trains de travaux. Dans ces bases travaux, on préparera le chantier du lendemain et on fera le tri et le stockage du matériel déposé.



Les sites des bases travaux (08) alternent avec les sites de croisements (10) qui sont nécessaires pour maximiser la flexibilité des travaux et minimiser l'impact sur l'exploitation de la ligne ferroviaire.



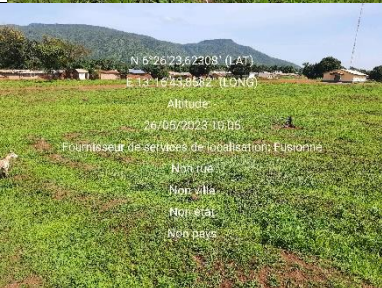
Zone d'influence des travaux : chaque base travaux B est dimensionnée pour accueillir la moitié du matériel déposé entre la base B-1 et la base B + la moitié du matériel déposé entre la base B et la base B+1.

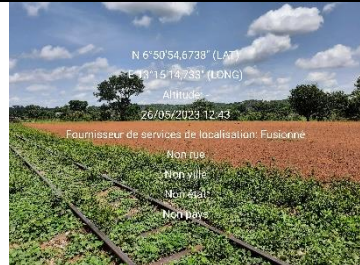

Le tableau ci-dessous donne un récapitulatif des sites identifiés pour abriter les bases travaux avec aires de stockage et les croisements.

Tableau 16 : Distribution des bases travaux avec aires de stockage

Bases travaux avec aires de stockage	PK	Coordonnées GPS (latitude, longitude)	Caractéristique environnementale et sociale	Photos
Aire COTCO Bélabo	553+000	4.91681397, 13.26116758	<ul style="list-style-type: none"> • Site hors emprise ferroviaire sur un terrain privé de l'Etat ==> L'autorisation d'exploitation du site pour le projet PRBN est requise avant les travaux (à charge MO/MOD) • Existence d'une aire de jeu (football) aménagée avec tribune contigüe à l'aire de soudure, à préserver • Prévoir la construction d'une clôture autour de l'installation du projet qui sera attenante à l'aire de jeu • Prévoir une remise en état du site après les travaux 	
	556+000		<ul style="list-style-type: none"> • RAS 	
	576+700	5.133114, 13.390744	<ul style="list-style-type: none"> • Présence de quelques cultures sur moins de 20m de la voie d'évitement ==> « Informer les propriétaires des cultures de la date de démarrage des travaux pour qu'ils puissent les récolter si possible avant les travaux. Prévoir compensation et restauration de subsistance en conformité avec la Norme 6 de la BEI « Déplacement involontaire des populations ». 	

<p>Goyoum (gare)</p>	<p>596+400</p>	<p>5.22255322, 13.37550192</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Existence des 02 habitations voisines de la nouvelle voie VS7, mais qui ne seront pas touchées par les travaux ==> Prendre les dispositions nécessaires lors des travaux pour éviter les habitations voisines • Existence des cultures sur l'aire de stockage projetée ==> « Informer les propriétaires des cultures de la date de démarrage des travaux pour qu'ils puissent les récolter si possible avant les travaux. Prévoir compensation et restauration de subsistance en conformité avec la Norme 6 de la BEI « Déplacement involontaire des populations ». 	 <p>N:5°13'21,7748" (LAT) E:13°22'32,2588" (LONG) Altitude: 24/05/2023 14:21 Fournisseur de services de localisation: Fusionné Non rue Non ville Non état Non pays</p>
	<p>618+000</p>	<p>5.385688,13.380153</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Existence de quelques plants de bananiers plantains ==> Prévoir l'indemnisation pour les cultures qui seront détruites lors des travaux au niveau de ce site 	
	<p>640+100</p>		<ul style="list-style-type: none"> • RAS 	
<p>PK641</p>	<p>641+000</p>	<p>5.55648271, 13.37079298</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Existence des cultures sur le site ==> « Informer les propriétaires des cultures de la date de démarrage des travaux pour qu'ils puissent les récolter si possible avant les travaux. Prévoir compensation et restauration de subsistance en conformité avec la Norme 6 de la BEI « Déplacement involontaire des populations ». Possibilité d'aménagement de l'Aire de stockage de façon extensible au besoin hors de l'emprise ferroviaire ==> Prévoir l'obtention de concessions provisoires d'occupation des parcelles à utiliser et qui se trouvent hors de l'emprise ferroviaire (à charge MO/MOD) 	 <p>N:5°33'16,43256" (LAT) E:13°22'16,61376" (LONG) Altitude: 24/05/2023 16:47 Fournisseur de services de localisation: Fusionné Non rue Non ville Non état Non pays</p>

<p>Mbitom (gare)</p>	<p>660+000</p>	<p>5.706724, 13.329064</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Existence d'une aire de jeu dans l'emprise ferroviaire ==> Prévoir l'aménagement d'une aire de jeu de substitution située hors du site du chantier • Existence d'une bergerie sur le site, en partie dans l'emprise ferroviaire ==> Prévoir une indemnisation pour la relocalisation de la bergerie • Possibilité d'aménagement de l'aire de stockage en partie hors emprise ferroviaire ==> Prévoir l'obtention de concessions provisoires d'occupation des parcelles à utiliser et qui se trouvent hors de l'emprise ferroviaire (à charge MO/MOD) 	
	<p>681+300</p>	<p>5.8794680, 13.3142040</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Existence de 02 habitations voisines de la nouvelle voie, mais qui ne seront pas touchées par les travaux ==> Prendre les dispositions nécessaires lors des travaux pour éviter les habitations voisines 	
	<p>697+800</p>		<ul style="list-style-type: none"> • RAS 	
<p>Gazagazade</p>	<p>723+000</p>	<p>6.214842, 13.352689</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité d'aménagement de l'aire de stockage en partie hors emprise ferroviaire ==> Prévoir l'obtention de concessions provisoires d'occupation de la parcelle hors emprise ferroviaire utilisée (à charge MO/MOD) 	
<p>Ngaoundal (gare)</p>	<p>752+200</p>	<p>6.443548, 13.277991</p>	<ul style="list-style-type: none"> • RAS 	
	<p>776+000</p>	<p>6.636683, 13.315124</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Existence d'un marché à proximité de la voie ferrée, de part et d'autre ==> Prévoir l'accompagnement de la 	<ul style="list-style-type: none"> •

			<p>communauté pour l'aménagement d'un nouvel espace de marché dans le village</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existence d'une traversée piétonne ==> Prévoir l'aménagement d'une nouvelle traversée piétonne dans le village 	
Makor (gare)	802+600	6.846625, 13.254076	<ul style="list-style-type: none"> • Existence d'une esplanade dans l'emprise de la gare, à l'emplacement de l'aire de stockage projetée, utilisée par la population comme aire de jeux ==> Prévoir l'aménagement d'une aire de jeu de substitution située hors du site du chantier 	
	831+900	7.075737, 13.315599	<ul style="list-style-type: none"> • RAS 	
Bawa (gare)	849+200	7.214303, 13.357691	<ul style="list-style-type: none"> • Existence d'une esplanade dans l'emprise de la gare exploitée par les populations comme aire de jeu ==> Prévoir l'aménagement d'une aire de jeu de substitution située hors du site du chantier 	
	871+000	7.307693, 13.506914	<ul style="list-style-type: none"> • RAS 	
	884+300		<ul style="list-style-type: none"> • Existence d'une zone avec ballasts fortement pollués par les hydrocarbures sur la voie ferrée au niveau des aiguillages et des zones retenues pour le stationnement des trains ==> Procéder à la dépollution de la zone polluée 	

Du point de vue environnemental, huit (08) aires de stockage seront aménagées pour le stockage des TBC.

6.2. Dimensionnement et caractéristiques des différents entrepôts

6.2.1. Dimensionnement des différents entrepôts

Le dimensionnement de ces entrepôts est fonction de la quantité et le volume des TBC à entreposer. Les tableaux 17 et 18 suivants présentent les quantités et les volumes de TBC pour chaque aire de stockage.

Tableau 17: Méthode de calcul des quantités et volumes des TBC

Aire de Stockage	Provenance	PT KM1	PT KM2	Distance (km)	Nombre de TBC par Km	Quantité	Volume (m ³)
Aire COTCO Belabo	X1	555+560	576+010	20.45	1,500	30 675	1 711. 665
Goyoum (gare)	X1	596+400	576+010	20.39	1,500	30 585	1 706. 643
Goyoum (gare)	X2	596+400	618+700	22.3	1,500	33 450	1 866.51
PK641	X2	641+000	618+700	22.3	1,500	33 450	1 866.51
PK641	X3	641+000	650+500	9.5	1,500	14 250	795.15
MBitom (gare)	X3	660+000	650+500	9.5	1500	14 250	795.15
MBitom (gare)	X4	660+000	697+800	37.8	1500	56 700	3 163.86
Gazagazade	X4	723+000	697+800	25.2	450	11 340	632.772
Gazagazade	X5	723+000	737+600	14.6	450	6 570	366.606
Ngaoundal (gare)	X5	752+200	737+600	14.6	450	6 570	366.606
Ngaoundal (gare)	X6	752+200	777+400	25.2	450	11 340	632.772
Makor (gare)	X6	802+600	777+400	25.2	450	11 340	632.772
Makor (gare)	X7	802+600	825+900	23.3	450	10 485	585.063
Bawa (gare)	X7	849+200	825+900	23.3	450	10 485	585.063
Bawa (gare)	Ngaoundéré	849+200	884+300	35.1	450	15 795	881.361
Total						297 285	16 588.503

Tableau 18: Quantités et volumes des TBC pour chacune des aires de stockage

Aires de stockage	Quantité de TBC	Volume total Min en m ³
Aire COTCO Bélabo	30 675	1 711.665
Goyoum (gare)	64 035	3 573. 153
PK641	47 700	2 661.66
Mbitom	70 950	3 959.01
Gazagazade	17 910	999.378
Gare de Ngaoundal	17 910	999.378
Gare de Makor	21 825	1 217. 835
Gare de Bawa	26 280	1 466. 424

Compte tenu du poids d'une TBC qui est de 66kg et des dimensions qui sont de 0,13 × 0,22×1,95, les TBC devront être rangées en petits blocs afin de réduire les risques d'accident liés au chute et à la manutention. Pour cela, nous recommandons un bloc constitué d'un maximum de 200 TBC disposées de la manière suivante : 20 rangées de 10 TBC par rangée. Ce bloc aura les dimensions suivantes :

- Longueur = 1.95 m
- Largeur = 0.22 × 10= 2.2 m

- Hauteur = $0.13 \times 20 = 2.6$ m

Soit une superficie de 4.3 m^2 et un volume de 11.154 m^3 . Aussi, afin d'assurer une meilleure circulation et aménagement des entrepôts, et manutention en toute sécurité, les différentes surfaces des entrepôts présentées dans le tableau ci-après ont été multipliées par 2.

Le tableau ci-après détermine le nombre de blocs de TBC et surface requise pour chacune des aires de stockage.

Tableau 19: nombre de blocs et surface nécessaire par aire de stockage

Destination	Quantité de TBC	Volume total en m^3	Nombre de blocs	Superficie d'un bloc m^2	Superficie des entrepôts/hangars en m^2	Superficie de l'aire de stockage disponible m^2
Aire COTCO Bélabo	30 675	1 711.665	153	4.3	1 316	2 500
Goyoum (gare)	64 035	3 573. 153	320	4.3	2 752	5 000
PK641	47 700	2 661.66	239	4.3	2 055. 4	4 000
Mbitom	70 950	3 959.01	355	4.3	3 053	4 500
Gazagazade	17 910	999.378	90	4.3	774	5 000
Gare de Ngaoundal	17 910	999.378	90	4.3	774	4 500
Gare de Makor	21 825	1 217. 835	109	4.3	937.4	5 000
Gare de Bawa	26 280	1 466. 424	131	4.3	1 126.6	6 000

Ce dimensionnement permettra non seulement d'offrir un environnement de travail suffisamment aéré et ventilé, mais également assez d'espace pour une manutention des TBC dans les meilleures conditions de sécurité.

6.2.2. Caractéristiques des entrepôts

Les entrepôts devront être des bâtiments clos en structure métallique construits en éléments aciers robustes pour un assemblage et démontage facile. Toutefois, ces aciers devront être des aciers inoxydables afin de garantir la durabilité de l'ouvrage. Les différents entrepôts devront avoir selon la norme DIN EN 12464-1 :2011-08 un éclairage minimal compris entre 50 et 200 lux par mètre carré. Les superficies dépendant du nombre de TBC à entreposer, les entrepôts devront avoir une hauteur de 5 m.

De plus, ils devront être :

- entièrement couvert par une toiture ;
- avoir une ouverture claire et suffisante entre le chaînage des murs et la toiture, pour permettre une bonne ventilation de l'ensemble
- équipés d'un décanteur ;
- équipés d'un plancher étanche ;
- équipés d'un circuit de drainage des eaux interne et de cuves de récupération des eaux en dessous, pour regrouper et évacuer les écoulements accidentels et entrées d'eau de ruissellement accidentels depuis la toiture;
- équipés de palettes pour l'empilement des TBC ;
- respecté l'interdiction de mise en commun de certains produits incompatibles ;
- étiquetés de pictogrammes indiquant les risques et dangers associés aux déchets entreposés ;

Des voies d'accès devront tout aussi être aménagées, notamment pour permettre l'accès au personnel, à l'administration, aux engins de transport, aux véhicules d'urgences (ambulances, sapeur pompiers, etc...) en cas de nécessité d'intervention.

Un système de sécurité permanent devra également être mis en place pour éviter que les TBC ne soient subtilisées par les populations riveraines de l'entrepôt pour des usages domestiques.

La figure 10 ci-après illustre le modèle d'entrepôt pour le stockage des TBC issus de la voie ferrée Bélabo - Ngaoundéré.



Figure 10. Modèle d'entrepôt pour le stockage des TBC

La gestion et le suivi de cet entrepôt peut être confiée soit à une structure spécialisée dans la gestion des déchets spéciaux (disposant d'un agrément en cours de validité délivré par le MINEPDED) ou soit par le personnel propre de CAMRAIL. Dans ce dernier cas de figure, ce personnel clairement désignée et techniquement compétente devra avoir les habilitations HSE nécessaires.

Ce type de construction permettra de garantir la durabilité de l'ouvrage, son accessibilité et son caractère recyclable. Il permettra également de préserver l'environnement immédiat et minimiser des risques notables de pollution environnementale.

6.2.3. Caractéristiques liées à la santé, sécurité et la préservation de l'environnement

La sécurité dans les entrepôts est un ensemble de lignes directrices réglementaires et de meilleures pratiques industrielles visant à aider le personnel d'entreposage à garantir un environnement de travail sécuritaire et à renforcer les comportements sûrs lors du travail dans les entrepôts. De ce fait, pour garantir un environnement de travail sain, le concessionnaire devra équiper l'entrepôt :

- des extincteurs à poudre ABC ;
- d'un système de ventilation adéquat ;
- d'un éclairage optimal ;
- un schéma de circulation et d'évacuation en cas d'urgence ;
- de pictogrammes indiquant les risques et dangers associés aux déchets entreposés ;
- de point de rassemblements ;

Une Étude de Danger et Plan d'Urgence doit être réalisé pour cet entrepôt. Il faudra également veiller à former le personnel intervenant l'entrepôt de stockage des TBC et veiller au respect des mesures de sécurités.

6.3. Coût de transport des TBC vers les différentes aires de stockage

Le tableau suivant présente les coûts de transport des différentes TBC vers les différentes aires de stockage.

Tableau 20: Estimation du coût de transport des TBC vers les aires de stockage

Aire de stockage	Point	PT KM1	PT KM2	Distance (km)	Nombre de TBC par Km	Quantité	Poids en Tonne	Tonne.km	Coût unitaire en FCFA (T. Km)	Coût total en FCFA
Aire COTCO Belabo	X1	555+560	576+010	20.45	1,500	30 675	2 024.55	41 402.05	50	2 329 244.9
Goyoum (gare)	X1	596+400	576+010	20.39	1,500	30 585	2 018.61	41 159.5	50	2 057 975
Goyoum (gare)	X2	596+400	618+700	22.3	1,500	33 450	2 207.7	49 231.71	50	2 461 585.5
PK641	X2	641+000	618+700	22.3	1,500	33 450	2 207.7	49 231.71	50	2 461 585.5
PK641	X3	641+000	650+500	9.5	1,500	14 250	940.5	8 934.750	50	446 737.5
MBitom (gare)	X3	660+000	650+500	9.5	1500	14 250	940.5	8 934.750	50	446 737.5
MBitom (gare)	X4	660+000	697+800	37.8	1500	56 700	3 742.2	141 455.16	50	7 072 758
Gazagazade	X4	723+000	697+800	25.2	450	11 340	748.44	18 860.688	50	943 034.4
Gazagazade	X5	723+000	737+600	14.6	450	6 570	433.62	6 330.852	50	316 542. 6
Ngaoundal (gare)	X5	752+200	737+600	14.6	450	6 570	433.62	6 330.852	50	316 542. 6
Ngaoundal (gare)	X6	752+200	777+400	25.2	450	11 340	748.44	18 860. 68	50	943 034
Makor (gare)	X6	802+600	777+400	25.2	450	11 340	748.44	18 860. 68	50	943 034
Makor (gare)	X7	802+600	825+900	23.3	450	10 485	691.01	16 123.8	50	806 190
Bawa (gare)	X7	849+200	825+900	23.3	450	10 485	691.01	16 123.8	50	806 190
Bawa (gare)	Ngaoundéré	849+200	884+300	35.1	450	15 795	1042.47	36 590.697	50	1 829 534.85
Total						297 285	19 185.19			24 180 786.35

Le coût de transport hors taxe des TBC par voie ferrée vers les aires de stockage s'élèvera donc à **24 180 786.35 FCFA**.

6.4. Coût estimatif de la construction des entrepôts

Afin d'apprécier la faisabilité de la réalisation de cet entrepôt, un coût estimatif a été évalué. Cette évaluation a été faite sur la base des informations reçues de la part d'une entreprise spécialisée dans la construction de tel entrepôt du nom de Steel Shed Solution que nous avons contacté via ses contacts : son site web www.batimentsmoinschers.com.

Selon cette entreprise, la construction de ce type d'entrepôt est estimée à 58,29\$US/m² hors taxe. Le tableau ci-dessous présente une estimation des coûts de construction des différents entrepôts.

Tableau 21: Estimation des coûts de construction des différents entrepôts

N°	Localité	Nombre de TBC à pré-stocker	Superficie de l'entrepôt en m ²	Coût unitaire (FCFA/m ²)	Coût Total (FCFA)
1.	Aire COTCO Bélabo	30 675	1 316	36 781 FCFA/m ² 58,29\$US/m ²	48 403 796
2.	Goyoum (gare)	64 035	2 752		101 221 312
3.	PK641	47 700	2 055. 4		75 599 667.4
4.	Mbitom	70 950	3 053		112 292 393
5.	Gazagazade	17 910	774		28 468 494
6.	Gare de Ngaoundal	17 910	774		28 468 494
7.	Gare de Makor	21 825	937.4		34 478 509.4
8.	Gare de Bawa	26 280	1 126.6		41 437 474.6
TOTAL		297 285	25 566 m²		470 370 140.4

Ainsi, le coût total hors taxe de la construction de l'ensemble des entrepôts de stockage a été évalué à **470 370 140.4 FCFA**.

6.5. Synthèse des coûts de transport et de la construction des entrepôts des TBC à long terme

Le tableau ci-après présente les coûts de construction des différents entrepôts et transport des TBC.

Tableau 22: Synthèse des coûts liés à la construction des entrepôts et transport des TBC vers les aires de stockage

N°	Désignation	Coût (FCFA hors taxe)
1.	Coûts relatifs à la construction des entrepôts	470 370 140.4
2.	Coût du transport des TBC vers les aires de stockage	24 180 786.35
TOTAL		494 550 926.75

NB : Ce coût n'intègre pas les frais de gardiennage des aires de stockage

7. PLAN DE SUIVI DU STOCKAGE PROVISOIRE DES TBC À LONG TERME

Le plan de suivi décrit les principales dispositions indispensables à la mise en œuvre des mesures de prévention et protection de l'environnement, et de la santé et sécurité des personnes. Il constitue ainsi pour les utilisateurs, une feuille de route qui aide à définir, mettre en œuvre et suivre le stockage provisoire des TBC. Il met en rapport:

- les actions à surveiller ;
- les indicateurs de surveillance ;
- les documents de suivi ;
- les acteurs responsables du suivi ;
- les périodes de suivi ;
- le coût de suivi.

7.1. Les actions à surveiller

Ces actions sont réparties en trois groupes : avant le projet, pendant le projet, et après le projet.

7.2. Avant le projet

Avant le début du projet, l'action à suivre sera l'élaboration d'un plan de gestion des TBC conformément à la législation nationale et aux normes de la BEI.

7.3. Pendant le projet

Pendant la réalisation du projet, les différentes actions à suivre sont :

- les activités de collecte des TBC ;
- la quantité de collecte des TBC par km ;
- la formation du personnel ;
- les activités de tri et de pré-stockage des TBC ;
- l'aménagement des aires de stockage des TBC ;
- les sensibilisations vis-à-vis des populations ;
- le respect des consignes de sécurité et environnemental.

7.4. Après le projet

Après le projet, les activités à suivre sont :

- la sécurité de l'entrepôt de stockage des TBC ;
- la poursuite des études en vue de l'identification d'un meilleur schéma de traitement des TBC.

7.5. Les indicateurs de surveillance

En fonction des actions à surveiller, nous aurons pour indicateurs de surveillance :

Avant le début du projet

- la présence d'un plan de gestion des TBC approuvé et signé par les autorités compétentes ;

Pendant le projet

- le pourcentage de respect de la méthode de collecte et de transport des TBC
- le nombre de TBC collecté par km
- le nombre de site de pré-stockage des TBC
- le nombre de TBC effectivement trié
- le taux de formation du personnel
- le taux de respect des consignes de sécurité et environnemental
- le taux de pollution des sols, de l'air et de l'eau
- le pourcentage de l'efficacité des mesures contre des accidents

Après le projet

- Le taux de respect du budget du projet ;
- Le taux de respect des exigences de sécurité ;
- le taux de pollution des sols, de l'air et de l'eau

7.6. Les documents de suivi

Il s'agit des documents qui permettent d'assurer un meilleur suivi. Parmi ces documents, nous avons : les fiches de suivi et les reporting de suivi.

• Fiches de suivi

Les différentes fiches de suivi des TBC :

- fiches de collecte des TBC
- fiche de contrôle des stocks de TBC stockées
- fiche de sensibilisation des populations
- fiche de formation du personnel
- fiche de contrôle des sols, de l'air, et de l'eau
- fiche de déclaration d'accidents ;
- fiche des consignes SST et environnementale ;
- fiche individuel du personnel

• Le reporting de suivi

Les responsables du suivi doivent produire trois types de reporting :

- un reporting journalier qui consiste à remplir les fiches de suivi ;
- un reporting mensuel qui consiste à produire un rapport mensuel de suivi ;
- un reporting trimestriel qui consiste à compiler les informations mensuelles pour sortir un rapport trimestriel avec suffisamment d'éléments pour permettre d'améliorer le suivi pour les prochains mois.

7.7. Les acteurs responsables du suivi

Pour un meilleur suivi, les responsables suivants doivent être mise en place :

- un responsable HSE qui sera chargé d'assurer le respect des consignes de sécurité ; de veiller au respect des mesures sécuritaires et environnementales, à la formation du personnel, la sensibilisation du personnel et des populations environnantes ;
- les responsables dans chaque zone de pré-stockage qui seront chargé de veiller au bon stockage des TBC

7.8. Les périodes de suivi

Le suivi du projet doit se faire durant tout le cycle du traitement c'est-à-dire : avant le projet, pendant le projet et après le projet.

7.9. Coût de suivi

Le budget de suivi de ce plan de déchet des TBC doit être prévu :

- tout d'abord dans le budget de réalisation du projet afin que lors de la mise en place du projet nous ne soyons plus en train de chercher des sources de financement ;
- et ensuite dans le budget de fonctionnement de CAMRAIL pour la prise en charge des travaux en amont.

8. CONCLUSION

La créosote est une substance très nocive pour l'environnement. Les traverses de bois traitées à la créosote qui seront enlevées devront être bien traitées afin de minimiser leur effet nocif sur l'environnement. Selon la législation UE 2011/71 / UE, le bois traité à la créosote peut être utilisé si les teneurs en BP et en FeAs sont inférieures aux limites suivantes : Benzo (a) pyrène 0,005% en masse (50 ppm) et Phénol 3% en masse.

En vertu du principe de précaution et des risques potentiels encourus par les populations et en l'absence d'une législation nationale fixant clairement les limites de concentration des teneurs en BP (Benzo(a)pyrène) et en FeAs (Arsénopyrite) autorisées, les traverses traitées au créosote ne sauraient être réutilisable ou recyclable.

Plusieurs techniques de traitement ont été analysées. De ce qui précède, la présente étude recommande l'incinération comme méthode de traitement thermique des traverses de bois traitées à la créosote du tronçon Ngaoundéré - Bélabo. Seulement, compte tenu des coûts élevés liés à ce type de traitement, une mesure alternative pourra t'être prise. Il s'agit du stockage à long terme des différents TBC dans des entrepôts à différentes aires de stockage localisées. Ces stockages devront se conformer aux normes environnementales et sociales telles que édictées par la BEI et la BM. A l'issue de cette option de stockage, CAMRAIL et ses partenaires devraient poursuivre les recherches afin de trouver un moyen de traitement ultime desdits déchets dans un futur à moyen ou longs termes.

La gestion des déchets des traverses de bois traitées à la créosote telle que présentée par le présent plan de gestion des déchets sera conforme non seulement aux obligations des normes 1, 3, 5 et 9 de la BEI, aux dispositions importantes de l'arrêté du 18 décembre 2018 relatif à la restriction d'utilisation et de mise sur le marché de certains bois traités ; à la charte d'engagement volontaire relative à la gestion et l'élimination des poteaux et des traverses en bois traitées à la créosote ; mais aussi à l'arrêté N°002/MINEPDED du 15 octobre 2012 fixant les conditions spécifiques de gestion des déchets industriels (dangereux/toxiques).

Le stockage ainsi préconisé devra se faire dans des conditions qui permettent de garder les TBC dans leur intégrité et à l'abri des intempéries et des utilisations non prévues. Le coût estimé de la mise en stockage des TBC s'élève à **quatre cent quatre-vingt-quatorze millions cinq cent cinquante mille neuf cent vingt-sept (494 550 926) francs CFA.**

BIBLIOGRAPHIE

ABIR OUESLATI, 2020. Pyrolyse lente du bois créosoté comme approche écologique de décontamination. Maîtrise en écologie. Université du Québec en Abitibi Témiscamingue. 152 p

ANSES, 2018. Rapport sur l'autorisation de produits à base de Créosote en accord avec les requis de la directive 2011/71/UE de la Commission.

BRGM/RP, 2010. Quelles techniques pour quels traitements - Analyse coûts- bénéfiques. 403 p

CAMRAIL, 2021. Étude de faisabilité et avant-projet sommaire pour le renouvellement de la ligne ferroviaire Douala – Yaoundé. 409p

Indaver nv. Fours à tambour rotatif : un traitement sûr et durable de déchets dangereux. www.indaver.com/be-fr/installations-processes consulté le 22/05/2022

INERIS, 2000. Directive n° 2000/76/CE du 04/12/00 sur l'incinération des déchets. https://aida.ineris.fr/consultation_document/997, 28/03/2022

Jonathan LAMARRE, 2020. Tendre vers une gestion durable du bois traité dans les matériaux de crd québécois. Maîtrise en environnement. Université de SHERBROOKE. 74p

Mohamed HAFID, 2015. L'impact et la gestion des déchets solides. 104p

Philippe Thonart, Sory Ibrahim, Serge Hiligsmann & Mathias Lardinois, 2005. Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites d'enfouissement technique dans les pays du sud. 146p

Romain SANCHEZ, 2022. Traverses et controverses. <https://trainetecologie.hypotheses.org/1575> , 22 /03/2022

TYPSA, 2019. Étude de faisabilité pour le renouvellement de la ligne ferroviaire entre Bélabo et Ngaoundéré. 143p

www.batimentsmoinschers.com, consulté le 20/09/2022