

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES GRAPHES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION

PREMIÈRE PARTIE : PRODUCTION D'ILMÉNITE CHEZ RIO TINTO QMM

Chapitre I Le gisement

Chapitre II Traitement du minerai

DEUXIÈME PARTIE : OPTIMISATION DU TRANSPORT DES PRODUITS ET MATÉRIAUX CHEZ RIO TINTO QMM

Chapitre III Problématique du transport des produits et matériaux

Chapitre IV Proposition d'optimisation du transport

Chapitre V Proposition d'optimisation du transport pour le futur

Chapitre VI Optimisation de l'hygiène, santé, environnement et sécurité des conducteurs

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

dB A :	décibel Audible
DMU:	Dry Mining Unit
DZC:	Dry Zirsill Circuit
FPC :	FeedPreparation Circuit
HMC:	Heavy Mineral Concentrate
HSE :	Health Safety Environment
HTR:	High Tension Roll
LEMT :	Limite d'Exposition en Milieu de Travail
MMP :	Mandena Mining Plant
MSP :	Minerals separation plant
OHM :	Other Heavy Minerals
PDC :	Primary Dry Circuit
QIT :	Québec iron and Titanium
QMM:	Qit Madagascar Minerals
RER:	Rare Earth Roll
SET :	Séparateur Électrostatique à Tambour
SMR :	Séparateur Magnétique à Rouleaux
SPE :	Santé, Prévention des accidents, Environnements
Sv :	Sievert
THM:	Total Heavy Minerals
UNIMAT :	Unitrans et Matérauto
VHM :	Valuable Heavy Minerals
WGC :	Wet Gravity Circuit
WZC :	Wet Zirsill Circuit
t :	Tonne
mn :	Minute
Ar :	Ariary

LISTE DES PHOTOS

Photos 1. Un train routier à 3 remorques transportant de l'ilménite	29
Photos 2. Chargement d'un train routier	30
Photos 3: Un des panneaux stop rencontrés pendant le trajet	31
Photos 4. Auto-basculement de la remorque pour le déchargement d'ilménite au port.	32
Photos 5. Semi-remorque plateau.....	33
Photos 6. Chargement de sacs de zircons dans la semi-remorque.....	34
Photos 7.Chargement d'un camion benne.....	35
Photos 8 : Récupération du rejet magnétique	42
Photos 9 : Piste d'accès des camions bennes à l'intérieur du site de Mandena	48
Photos10 : Chargeuse au secteur du stockage de minerai brut	51
Photos 11 : Chargeuse au secteur des baies de drainage ilménite.....	51
Photos 12 : Chargement de camion benne	52
Photos 13: Godet à lame à dents	Photos 14 : Godets à lame lisse
	52

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de gisements de Fort-Dauphin	8
Figure 2 : Processus de traitement du minerai	9
Figure 3 : Procédé de l'usine flottante.....	11
Figure 4 : Diagramme d'ensemble du concentrateur	12
Figure 5 : Flowsheet de l'usine de séparation minérale	16
Figure 6 : Schémas du principe d'opération d'un floatex	18
Figure 7 : Schémas du principe d'opération d'un séchoir à lit fluidisé.....	21
Figure 8: Schéma montrant une étape de séparation SET CoronaStat.....	22
Figure 9: Schéma du principe d'opération d'un séparateur magnétique à rouleaux	23
Figure 10: Différents arrangements de train routier, dont l'exemple K, le plus long train routier, appelé <i>Powertrain</i> ou Body and six, en Australie.	29
Figure 11: Cycle d'un camion dans une mine à ciel ouvert	61

LISTE DES GRAPHS

Graphe 1 : Statistique Juillet 2012 du nombre de voyage fait par 6648G	44
Graphe 2 : statistique Juillet 2012 du nombre de voyage fait par 6648F.....	44
Graphe 3 : Représentation en pourcentage de l'importance de transport de chaque matériau	45
Graphe 4 : statistique Juillet 2012 des jours de transport pour chaque type de matériaux.	45
Graphe 5: Représentation en pourcentage.....	46
Graphe 6 : Courbe de coût unitaire par rapport au nombre de camions bennes.....	70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Propriétés minérales du gisement de Mandena	6
Tableau 2 : Qualité des produits finis de Rio Tinto QMM	7
Tableau3: Composition des minerais du gisement de Mandena	9
Tableau 4 : Minéralogie du matériel non conducteur et non magnétique	25
Tableau 5 : Durée d'opération de chargement des 3 remorques	31
Tableau 6: Inventaire des matériaux transportés par camions bennes et leur destination.....	42
Tableau 8: Durée d'un voyage pour chaque type de matériaux	49
Tableau 9 : Temps de transport journalier estimé	49
Tableau 10: Statistique Juillet 2012 des temps d'attente	53
Tableau 11 : Résultat de mesure de bruit	56
Tableau 12 : Résultat de mesure de poussière totale.....	57
Tableau 13 : Coût fixe des équipements de transport relevé de la facture du mois de Juillet 2012	59
Tableau 14 : Coûts variables horaires des équipements relevés de la facture du mois de Juillet 2012	59
Tableau 15 : Coût variable des trains routiers relevé de la facture de mois de Juillet 2012	59
Tableau 16 : Coût d'attente des camions bennes	60
Tableau17 : Rendement d'un camion benne pour chaque type de matériaux.....	64
Tableau 18 : Coût unitaire de transport d'un camion benne pour chaque type de matériaux..	65
Tableau 19 : Taux de chargement μ_1 , trajet aller μ_2 , déchargement μ_3 , trajet retour μ_4	66
Tableau 20 : Probabilité des états du système d'une flotte de deux camions bennes	66
Tableau 21 : Résultats de calculs appliqués pour une flotte de deux camions bennes	67
Tableau 22 : Probabilité des états du système d'une flotte de trois camions bennes	68
Tableau 23 : Résultat des calculs appliqués pour une flotte de trois camions bennes	69
Tableau 24 : Coût total de transports pour le cas de 1,2 et 3 camions bennes	69
Tableau25 : Tableau récapitulatif du nombre de camion benne optimale	71
Tableau 26 : Temps de trajet de la chargeuse à partir des différents secteurs vers les baies de drainage zirsill	73
Tableau 27 : Transports qui annulent le temps d'attente des camions en opération de chargement	74
Tableau 28 : Transport qui annule le temps d'attente des camions en opération de déchargement	74

Tableau 29 : Transport qui annule le temps d'attente des camions de retour au point de chargement	75
Tableau 30 : Temps d'attente de chargeuse lorsque les camions sont arrivés en point de chargement	75
Tableau 31 : Durée du trajet de la chargeuse des secteurs de chargement vers le hangar ilménite.....	77
Tableau 32 : Transports qui annulent le temps d'attente des camions de la chargeuse appelée en opération de chargement.....	77
Tableau 33: Trajet minimisant le temps d'attente de camions pour une chargeuse appelée après avoir terminé l'opération de chargement.	78
Tableau 34 : Temps d'attente de la chargeuse à chaque secteur.....	79
Tableau 35: Transport qui permet l'arrivée à la chute de rejet magnétique en un minimum de temps	80
Tableau 36 : Transport vers la mine	80
Tableau 37: Répartition des équipements de transport en fonction des quantités des matériaux et de la distance des trajets	81
Tableau 38: Répartition des travaux d'une chargeuse et de deux camions.....	81
Tableau 39: Répartition des équipements de transport selon leur secteur de travail	82
Tableau 40 : Temps d'attente moyen de camion dû à l'alternance de chargement de camion se trouvant à des secteurs éloignés	84
Tableau 41: Temps d'attente moyen de camion dû à l'alternance de chargement de camion se trouvant à des secteurs éloignés	84
Tableau 42 : Durée moyenne de remplissage de feuille de route par les opérateurs et conducteurs pendant le quart de travail des camions benne.....	85
Tableau 43 : Estimation de production correspondant à l'objectif de 750 000 t/an.....	87
Tableau 44 : Taux de chargement, trajet aller, déchargement, trajet retour.....	89
Tableau 45 : Probabilités des états d'une flotte de 3 trains routiers.....	90
Tableau 46 : Probabilité des états d'une flotte de 2 trains routiers	92
Tableau 47 : Probabilités des états d'une flotte de 4 trains routiers.....	94
Tableau 48 : Tableau récapitulatif des solutions du réseau fermé de file d'attente	96

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1. Liste d'équivalence des numéros d'équipement	III
ANNEXE 2. Minimisation temps d'attente de camion	VIII
ANNEXE 3. Feuille de route chargeuse	X
ANNEXE 4. Feuille de route camion benne	XII
ANNEXE 5. Opérations de calculs pour la recherche du nombre optimal de train routier ..	XIV
ANNEXE 6. Cartes	XIX

INTRODUCTION

La société Rio Tinto QMM est l'un des plus grands investisseurs miniers en phase de production actuellement à Madagascar.

En effet, L'ilménite de Madagascar présente une qualité supérieure à celle de la plupart des autres gisements dans le monde avec une teneur en bioxyde de titane de 60%.

Dans le domaine du transport, les sociétés minières sont en permanence à la recherche de solutions efficaces pour réduire leurs coûts sans pour autant négliger la qualité de leur service.

Le transport des matériaux est l'une des dépenses les plus importantes dans l'exploitation des mines à ciel ouvert.

Trois classes de modes de transport se retrouvent dans l'industrie minière :

- le transport par convoyeur
- le transport par rail
- le transport par roues

L'attention de ce travail se portera sur la dernière classe.

A Rio Tinto QMM, le transport par roues se trouve dans deux phases différentes de l'exploitation:

-la phase d'extraction, à la mine, dont l'opération de décapage du sol nécessite la mobilisation de pelles et de tombereaux pour transporter les déblais.

-La phase de traitement, à l'usine de séparation minérale, qui nécessite la mobilisation de chargeuses et de camions pour transporter les produits finis et produits intermédiaires.

Le transport par roues étudié ici concerne celui de la phase de traitement c'est-à-dire les deux classes suivantes:

- les chargeuses
- les camions

De plus, pour Rio Tinto QMM, la santé, l'hygiène et la sécurité de son personnel sont également des priorités et des valeurs à tenir qui lui valent une très bonne réputation dans son domaine.

Le problème abordé dans ce travail ne touche pas la nature propre des moyens de transport, mais plutôt la gestion et l'optimisation des ressources de transport disponibles, dans le but d'améliorer le rendement global des opérations sans pour autant négliger ceux qui comptent le plus (santé, hygiène, sécurité des travailleurs).

Le présent mémoire intitulé « **Étude d'optimisation du transport des matériaux chez Rio Tinto QMM** » est abordé dans l'objectif d'accroître la rentabilité du transport des différents matériaux produits par l'usine de séparation minérale (produit finis, produits intermédiaires) en s'assurant que la santé, l'hygiène et la sécurité des travailleurs soient respectées.

L'étude consiste à déterminer d'abord le nombre optimal de camions qui minimise le coût d'opération de transport par la théorie du réseau fermé de file d'attente.

Cela nous permettra ensuite de proposer une meilleure gestion des flottes de camions en tenant compte des cas imprévus de fuites de rejets magnétiques dont le transport représente la priorité.

Pour cela, des travaux de terrains ont été nécessaire afin d'identifier d'abord les différents types de matériaux concernés, leur origine et leur finalité, ainsi qu'une estimation de leur quantité respective.

Plusieurs mesures de chronométrage ont été également nécessaire afin de connaître plus précisément la durée d'un voyage (chargement, trajet aller, déchargement, trajet retour) pour chaque type de matériaux.

De plus, l'observation et l'accompagnement des conducteurs pendant leurs trajets ont permis d'apporter une optimisation sur leur condition de travail.

L'ouvrage comporte deux parties. Une première partie parle de la production d'ilménite, depuis son extraction jusqu'à son transport. Une deuxième apporte une optimisation du transport en matière de coût et en matière de santé, hygiène et sécurité des travailleurs.

**PREMIÈRE PARTIE : PRODUCTION D'ILMÉNITE CHEZ
RIO TINTO QMM**

Généralités

La production d'ilménite chez Rio Tinto QMM inclut les opérations d'extraction et de traitement du gisement de sable de Fort-Dauphin. Le secteur de la mine (MMP pour « Mandena Mining Plant ») vise à extraire puis à séparer le tout-venant pour obtenir un concentré de minéraux lourds (appelé HMC pour « Heavy Mineral Concentrate »). Le concentré est ensuite séparé en divers minerais et stériles dans l'usine de séparation du minerai (appelée MSP pour « Minerals Separation Plant »). Ces différents minerais sont ensuite transportés vers le port d'Ehoala, situé au sud de Fort-Dauphin, pour être expédiés vers d'autres usines de traitement supplémentaire ou livrés directement aux clients.

Chapitre I: Le gisement

Le gisement de sable minéralisé du projet de Rio Tinto QMM se trouve dans le site de Mandena, Sainte Luce, et Petriky dans la région d'Anosy au Sud-Est de Madagascar.

En effet, les recherches géologiques ont permis de découvrir près de Taolagnaro un gisement de minerai présentant une valeur économique potentielle et dont l'exploitation permettrait, pendant environ 40 ans, d'extraire de l'ilménite et du zircon à partir de ces sites.

Le projet a obtenu en 2001 son permis environnemental pour le secteur Mandena, la première phase du projet dont les travaux ont débuté en 2005.

Pour le secteur Sainte Luce, la deuxième phase du projet, les appels d'offres ont été déjà publiés en Août 2011 pour commencer le processus d'études de bases menant à l'Evaluation de l'Impact Social et Environnemental (EISE) requise pour l'obtention éventuelle d'un permis environnemental. Ce processus prendra plusieurs années.

Pour le secteur Petriky, la troisième phase du projet, conformément aux cahiers de charges relatifs au permis environnemental, Rio Tinto QMM s'est engagé en 2008 à conserver cette zone en tant que nouvelle aire protégée.

I.1: Forme de gisement

Le gisement exploité à Fort-Dauphin est sous forme sablonneuse.

En effet, l'ilménite plus riche est habituellement trouvée dans les dépôts alluviaux, et dans ces cas en association avec d'autres minerais lourds tels que le rutil et le zircon.

Le zircon est un minerai de croûte terrestre qui contient du zirconium et principalement de silicate. Constituant normal des granites, il se concentre avec le rutil et l'ilménite dans les sables issus de la décomposition de ces roches.

Le zirsill, est le produit final exporté avec l'ilménite par Rio Tinto QMM.

I.2: Type de gisement

Le gisement d'ilménite et de zirsill de la région d'Anosy se trouve dans les secteurs suivants : Petriky, au Sud de Fort-Dauphin, Sainte Luce et Mandena, au Nord.

L'activité minière actuelle est localisée au site de Mandena.

Après 10 à 15 ans, quand le premier site sera épuisé, l'exploitation se déplacera vers le second, le site de Sainte Luce et enfin vers le 3^{ème} site, Petriky, dans 25 ans.

La mine aurait une durée de vie d'une quarantaine d'années.

Le tableau ci-dessous indique les propriétés minérales du gisement de Mandena.

Tableau 1 : Propriétés minérales du gisement de Mandena

Minerais	Formule chimique	Gravité spécifique	Propriétés affectant la séparation (en plus de la taille et de la forme des particules)
Minerais de Ti	Fe-Ti-O	3,6 à 4,7	Magnétique (à N-M) et conducteur (à S-C)
Zircon	ZrSiO ₄	4,6	Non magnétique et non conducteur
Sillimanite	Al ₂ SiO ₅	3,2	Non magnétique et non conducteur
Monazite	(Ce, La,Th)PO ₄	5,1	Peu magnétique et non conducteur
Spinelle (Mg)	MgAl ₂ O ₄	3,4	Non magnétique et non conducteur
Hercynite	FeAl ₂ O ₄	4,4	Magnétique et semi-conducteur

La composition moyenne du gisement de Mandena en THM (pour « Total Heavy Mineral ») est de 4,5%. Le THM contient plus de 90% de minerai de valeur qui se retrouve dans les deux produits (ilménite et ZirSill). Le THM est composé de 82,3% de minerais de titane (ilménite, leucoxène, rutil). Ces minerais de titane sont récupérés à 84%, ce qui permet d'obtenir un produit fini appelé « QMM Conductor » qui contient 60% de TiO₂. Les minerais de zircon et de sillimanite sont récupérés (ils constituent 7,7% du THM) pour obtenir un deuxième produit à valeur ajoutée appelé « QMM ZirSill », dont la composition massique visée est de 65% zircon, 30% sillimanite et 5% spinelle.

En effet, avec cette composition, la qualité anticipée du produit donnée dans le **tableau 2** sera obtenue. Étant donné que l'élément de valeur principal est le zircon, sa récupération sera surveillée afin d'attendre le 65% visé alors que le 5% de spinelle peut être considéré comme un résidu qui aurait été trop difficile à séparer en raison de ses caractéristiques physiques et chimiques.

Le tableau suivant donne la qualité anticipée des produits finis :

Tableau 2 : Qualité des produits finis de Rio Tinto QMM

Oxydes	Produit Conductor % massique prévu	Produit ZirSill % massique prévu
TiO ₂	60	0,06
Fe(t)	24,6	0,08
FeO	8,9	---
Fe ₂ O ₃	25,3	---
SiO ₂	0,15	37,2
Al ₂ O ₃	1,16	18,5
CaO	0,03	0,04
MgO	0,49	0,08
MnO	0,39	<0,01
Cr ₂ O ₃	0,06	<0,01
V ₂ O ₅	0,19	<0,01
P ₂ O ₅	0,065	0,05
Nb ₂ O ₅	0,25	---
ZrO ₂	0,04	43,7
Autres	0,1	<0,50
L.O.I.	2,85	0,2
Th (ppm)	107	125
U (ppm)	10	245
U+Th (ppm)	117	370

I.3: Estimation des réserves

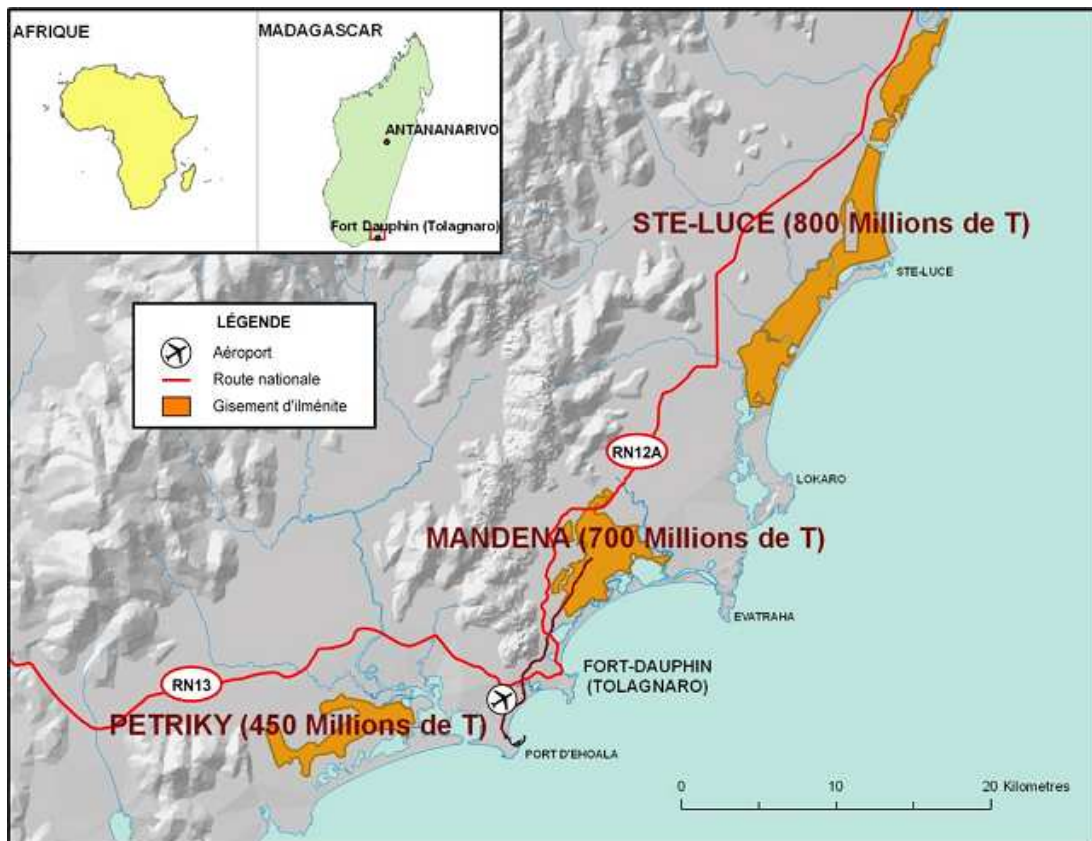


Figure 1 : Localisation de gisements de Fort-Dauphin

Le secteur minier de Mandena contient quelque 700 millions de tonnes de sable, ayant une teneur moyenne en minéraux lourds (la fraction qui comprend l'ilménite et le zircon) de 4,5 %, répartie sur une épaisseur moyenne de 18 m.

Le secteur de Sainte-Luce, qui s'étend de 20 à 55 km au nord de la ville de Fort-Dauphin, est constitué d'une série de longues dunes sinueuses, entrecoupées de rivières. La couche minéralisée contient environ 800 millions de tonnes de sable, ayant une teneur moyenne en minéraux lourds de 5,5 %, distribuées sur une épaisseur moyenne de 12 m.

Enfin, le secteur de Petriky, situé à une quinzaine de kilomètres au sud de la ville de Fort-Dauphin, contient quelque 450 millions de tonnes de sable, ayant une teneur moyenne en minéraux lourds de 4,5 %, réparties sur une épaisseur moyenne de plus de 20 m.

La localisation du gisement de Fort-Dauphin ainsi que leur tonnage en sable minéralisé est montrée dans la **figure 1**.

Le tableau suivant donne les estimés de composition des minerais du gisement de Mandena, ils proviennent des analyses des échantillons de Rio Tinto QMM, recueillis lors de forages.

Tableau3: Composition des minerais du gisement de Mandena

Minerais	% massique des minéraux lourds
Ilménite (FeO-TiO ₂)	77,4
Leucoxène	1,5
Rutile (Fe ₂ Ti ₃ O ₉)	3,4
Sous-total du minerai contenant du titane	82,3
Zircon (Zr SiO ₄)	3,7
Sillimanite (Al ₂ Si O ₅)	4,0
Monazite (Ce, La, OH) PO ₄	1,5
Hercynite (FeAl ₂ O ₄)	2,8
Spinelle (Mg Al ₂ O ₄)	5,7
Total	100,0

Chapitre II: TRAITEMENT DU MINERAI [1], [2]

II.1: Processus de traitement

Le processus de traitement du minerai de Rio Tinto QMM a été développé depuis les 23 dernières années en se basant sur plusieurs programmes d'échantillonnage, de tests en laboratoire et de tests pilotes réalisés à l'aide d'échantillons de minerai du gisement de Mandena.

Grâce à ce processus, une bonne connaissance des problématiques liées aux minéraux et à la métallurgie du sable minier a été acquise et a permis d'élaborer le diagramme d'écoulement du procédé.

La figure suivante montre le processus de traitement du minerai depuis le secteur de la mine (MMP) vers le secteur de l'usine de séparation minérale (MSP).

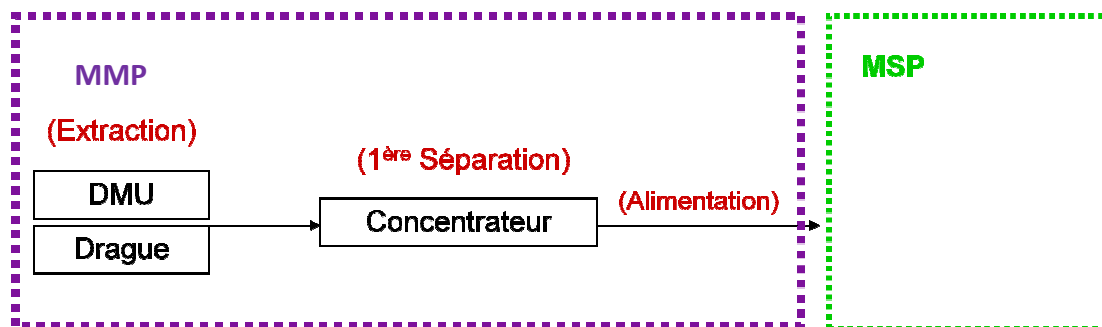


Figure 2 : Processus de traitement du minerai

II.2: Dragage et exploitation minière à sec.

II.2.1: Le dragage

Dans le secteur de la mine, cette méthode consiste à pomper et à extraire le tout-venant pour, ensuite, le transporter vers le concentrateur flottant afin de séparer les minerais de valeur des stériles (sables résiduels).

Il est réalisé à partir d'une drague conventionnelle à succion munie d'une tête rotative avec couteaux capable d'effectuer des mouvements longitudinaux d'avance et de recul et des mouvements latéraux de balayage.

L'enlèvement et stockage de la couche stérile devant l'unité de dragage se fait au fur et à mesure de l'avancement de l'extraction.

En principe, la drague est assimilée à une unité flottante. Elle supporte des équipements pour l'extraction et le transfert du sable minéralisé vers le concentrateur flottant ainsi que plusieurs instruments de contrôle.

II.2.2: Unité d'exploitation minière à sec (DMU pour « Dry Mining Unit »)

L'unité d'exploitation minière à sec consiste à pousser le tout-venant dans une trémie à l'aide de bulldozers.

Le tout-venant est mis en pulpe dans la trémie pour être ensuite pompé vers le concentrateur flottant.

L'intégration d'une unité d'exploitation à sec a été planifiée depuis le début pour l'exploitation de certain secteur du gisement. Sa mise en œuvre a été accélérée pour accroître rapidement le volume de production et pour améliorer le plan visant à atteindre la rentabilité des opérations.

En effet, le dragage est moins précis que l'exploitation minière à sec, et des pertes se produisent, bien que ceux-ci puissent être minimisés en balayage.

L'exploitation minière à sec est plus coûteuse. Elle est, donc, généralement utilisée pour un gisement de haute qualité (plus riche en minerai lourd) mais moins importante en volume ou quand les conditions du sol et de la nappe phréatique considérés ne permettent pas d'aménager un bassin de dragage. Elle est plus efficace que le dragage quand le minerai est superficiel permettant, ainsi, une récupération minière plus élevée.

II.3: Usine flottante

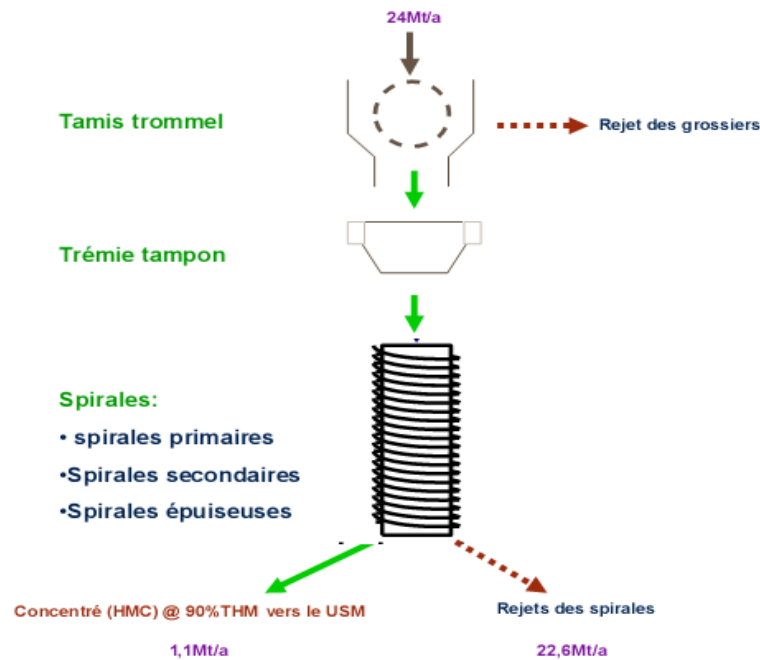


Figure 3 : Procédé de l'usine flottante

L'usine flottante est un concentrateur flottant situé dans le bassin de dragage.

Elle est composée de spirales à quatre niveaux qui opèrent une séparation gravitaire par voie humide.

Elle permet de traiter environ 24 Mt/a du tout-venant pour produire un peu plus de 1 Mt/a de minerai contenant 90% de minéraux lourds.

En effet, les minéraux lourds tels que l'ilménite, le sillimanite et le zircon se concentrent près de la colonne centrale, tandis que les minéraux plus légers (quartz, silice,...) du sable se trouvent près des bords et sont rejetés à l'arrière de l'usine flottante.

Ce premier circuit est appelé circuit gravimétrique humide.

Les concentrés de sables lourds résultant de cette première étape seront acheminés, par pompage, vers l'usine de séparation minérale située à Mandena pour les étapes finales de séparation.

La figure ci-dessous montre le diagramme d'ensemble du concentrateur flottant.

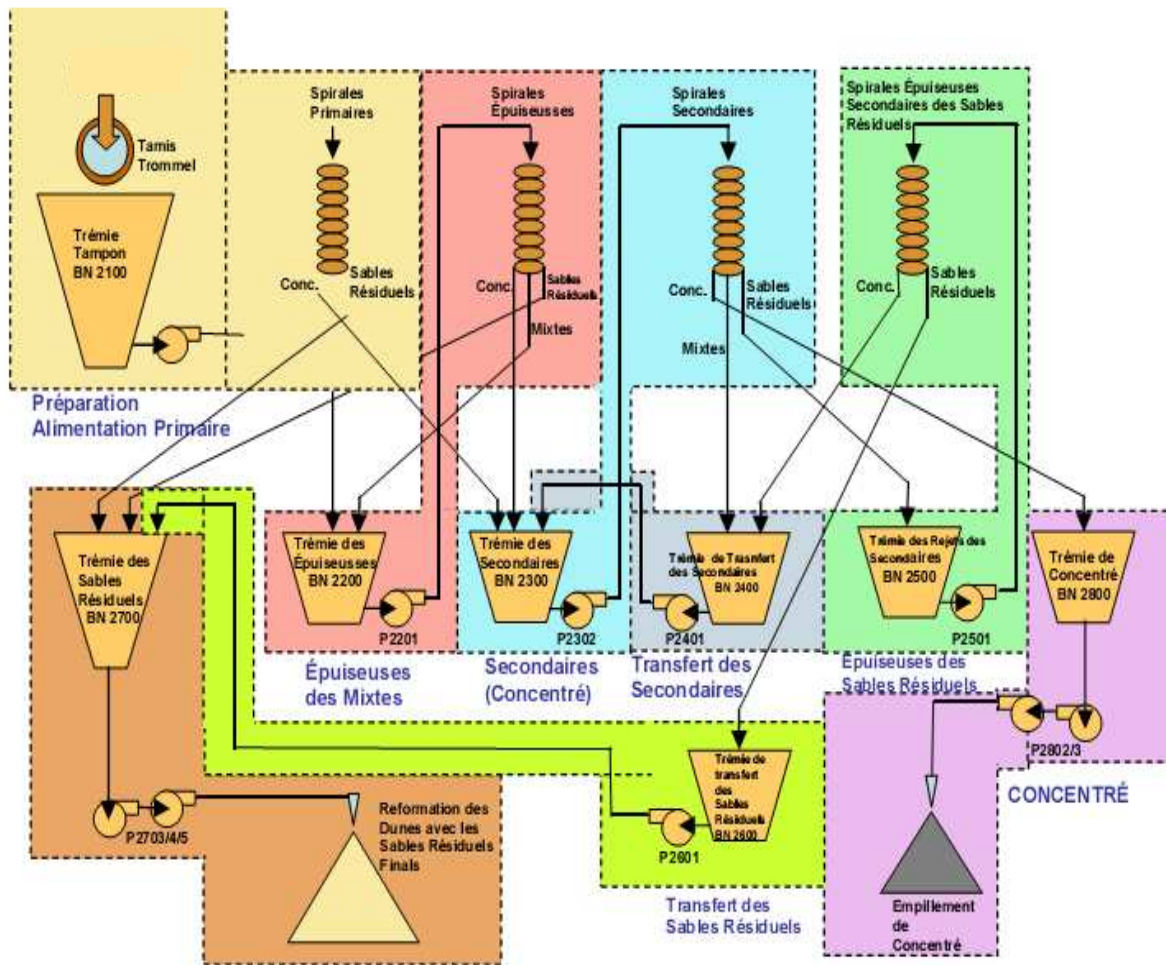


Figure 4 : Diagramme d'ensemble du concentrateur

II.3.1 : Principes d'opérations

II.3.1.1: Tamis rotatif (trommel) et trémie d'alimentation (tampon)

Le tout-venant extrait passe à travers un grand tamis rotatif appelé Trommel.

Les passants du Trommel sont les sables minéraux tandis que les non passants sont les matériaux non désirés tels que pièces de bois, racines, roches et glaise.

Les passants poursuivront leur chemins jusqu'à la trémie tampon ou d'alimentation (Surge Bin) tandis que les non passants seront éjectés dans le réservoir à l'arrière de l'usine flottante.

Un plateau collecteur en pente sous la Trommel récupère et dirige le sable qui a passé à travers les tamis de la Trommel vers la boîte de distribution (Boil box).

Les pompes de gicleurs d'eau de la Trommel ainsi que des jets d'eau (blast water) fournissent l'eau directement du bassin d'eau (pond) pour les tamis de la Trommel et l'eau du plateau collecteur.

La trémie d'alimentation reçoit les sables minéraux à l'état brut. La pulpe (mélange d'eau et de sable) circule à travers la trémie d'alimentation.

Cette pulpe passera à la première étape de la concentration minérale appelée étape des spirales primaires.

II.3.1.2: Pompages d'alimentation des spirales primaires

Deux pompes centrifuges à vitesse variable entraînent la pulpe à partir du fond de la trémie à travers de petit pipeline appelé : tuyau d'entrée.

Deux autres petits tuyaux dont l'entrée est située près du haut de la trémie d'alimentation permettent d'amener de l'eau jusqu'au tuyau d'aspiration des pompes.

La valve de contrôle de densité et valve de contrôle de débit servent à contrôler la densité.

II.3.2 : Système d'épuisement des mixtes

Les pulpes mixtes provenant des spirales primaires passent à travers une boîte de distribution et descendent au fond d'une trémie.

Elles sont ensuite entraînées à l'aspiration des pompes épuiseuses pour être pompé jusqu'aux spirales épuiseuses pour d'autre traitement.

II.3.3 : Système des spirales secondaires (concentré)

La trémie des secondaires reçoit le concentré des spirales suivantes:

- spirales primaires
- spirales épuiseuses
- spirales épuiseuses secondaires des sables résiduels

Le concentré passe à travers une boîte de distribution et descend au fond d'une trémie où il sera entraîné à l'aspiration des pompes des secondaires. La pulpe minérale est pompée jusqu'aux spirales secondaires pour d'autres traitements.

II.3.4 : Système d'épuisement et de nettoyage des sables résiduels

La trémie de rejets des secondaires reçoit seulement les sables résiduels des spirales secondaires pour récupérer tout concentré qui aurait pu être perdu dans les résidus des spirales secondaires.

Les sables résiduels des spirales secondaires passent à travers une boîte de distribution et descendent au fond d'une trémie où ils seront entraînés à l'aspiration d'une pompe. La pulpe minérale est pompée jusqu'aux spirales épuiseuses secondaires des sables résiduels pour d'autre traitement.

II.3.5 : Transfert des secondaires

La trémie de transfert des secondaires reçoit les mixtes des spirales secondaires et les concentrés des spirales épuiseuses secondaires des sables résiduels et retourne en transférant ces produits à une trémie d'alimentation des spirales secondaires.

Les mixtes des spirales secondaires et le concentré des spirales épuiseuses secondaires des sables résiduels passent à travers une boîte de distribution et descendent au fond d'une trémie où ils seront entraînés à l'aspiration d'une pompe de transfert. La pulpe minérale est pompée donc retournée jusqu'à la trémie d'alimentation des spirales secondaires pour un nouveau traitement.

II.3.6 : Système de transfert du concentré

La trémie des concentrés reçoit seulement le concentré des spirales secondaires.

Le concentré passe à travers une boîte de distribution et descend au fond d'une trémie où il sera entraîné à l'aspiration des pompes de concentré. Ce système comprend 2 pompes en séries qui pompent le concentré jusqu'à la base d'empilement.

II.3.7 : Système de transfert des sables résiduels

La trémie de transfert des sables résiduels reçoit seulement les sables résiduels des spirales épuiseuses secondaires des sables résiduels et les transfère à une trémie des sables résiduels.

Les sables résiduels passent à travers une boîte de distribution et descendent au fond d'une trémie où ils seront entraînés à l'aspiration d'une pompe des sables résiduels. La pulpe des sables résiduels sera alors pompée à une trémie des sables résiduels où elle sera pompée sur la terre ferme pour la réhabilitation des dunes.

II.3.8 : Système de transport des sables résiduels

La trémie des sables résiduels reçoit les stériles de tous les systèmes et les transfère sur les dunes derrière l'usine flottante pour la réhabilitation des dunes qui ont été minées par la drague.

Les sables résiduels passent à travers une boîte de distribution et descendent au fond de la trémie. Le système de disposition des sables résiduels est fait de 3 paires de pompes en parallèle qui les pompent sur les dunes.

II.4: Usine de séparation minérale (MSP pour « Minerals Separation Plant »)

La figure suivante montre les étapes suivies par le minerai depuis son entrée dans l'usine de séparation minérale jusqu'à la production des produits finis.

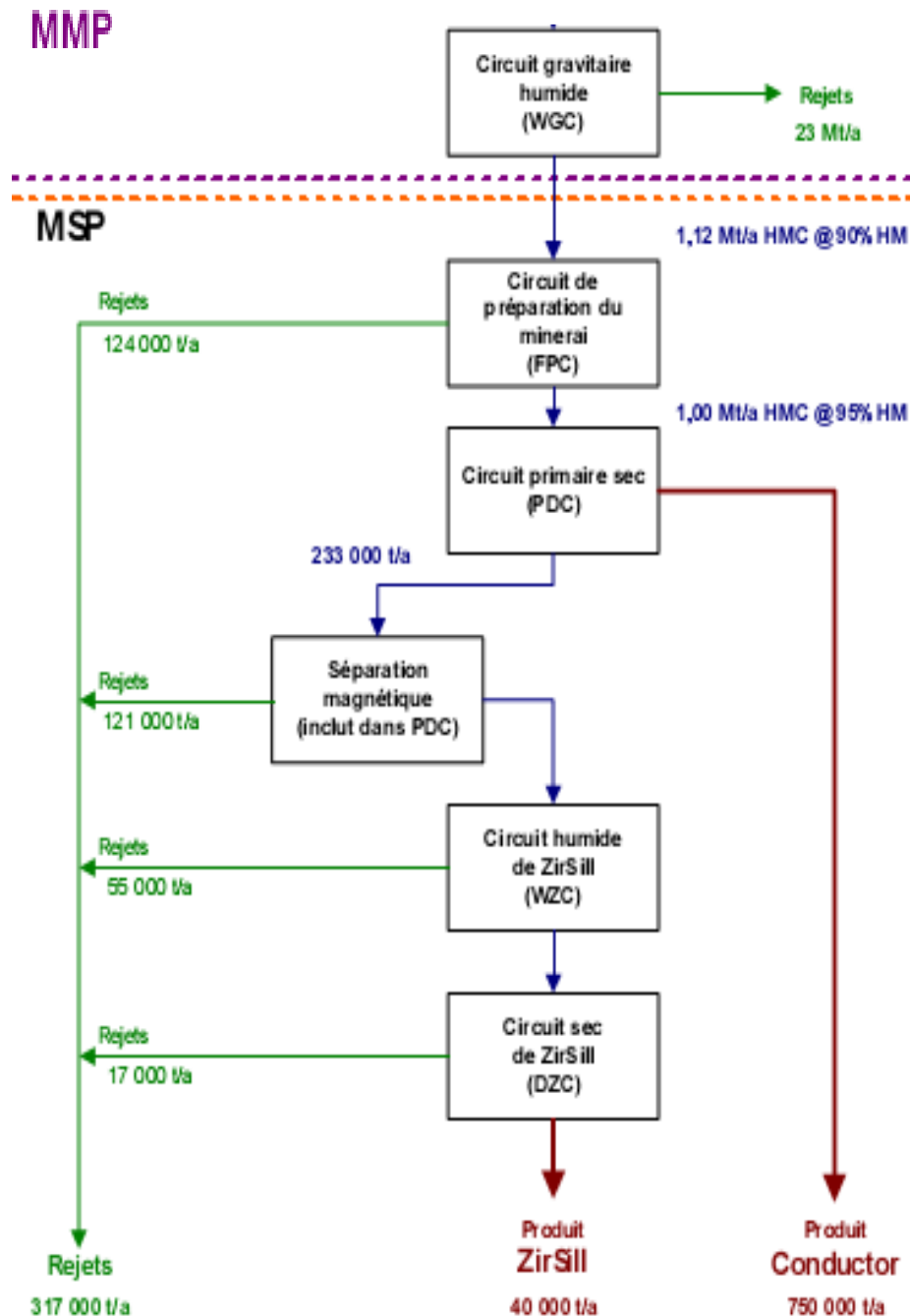


Figure 5 : Flowsheet de l'usine de séparation minérale

II.4.1: Le circuit de préparation d'alimentation (FPC pour « FeedPreparation Circuit »)

Le circuit de préparation d'alimentation prépare et sépare le concentré qui doit être alimenté dans les baies de drainage.

Dans l'usine de séparation minérale, le circuit de préparation du minerai contient un floatex et des spirales à deux niveaux qui permettent d'obtenir un minerai contenant 95% de minéraux lourds.

Les principales étapes du procédé sont :

- alimentation du concentré
- circuit d'attrition
- circuit de préparation d'alimentation

II.4.1.1 : Alimentation du circuit de préparation d'alimentation

Le produit alimenté à l'usine de préparation du minerai provient de la réserve ou directement du circuit par gravité humide. Le concentré est d'abord alimenté à un tamis fixe (SC-5014) ayant une ouverture de 2 mm et servant à retirer les gros débris qui auraient pu s'accumuler lors du transport et de la manutention du produit. La sousverse de ce tamis est alimentée par gravité vers un tamis vibrant (SC-5017) dont l'ouverture est de 425 µm. Les particules grossières retirées par ces deux tamis sont retournées vers les piles de sables résiduels. La sousverse du deuxième tamis est envoyée dans une trémie tampon (BN-5020) qui contrôle la densité pour alimenter le procédé en aval.

II.4.1.2 : Cyclones d'attrition

Le concentré est pompé à travers une série de distributeurs sous pression vers quatre cyclones (CY-5201, CY-5204, CY-5207, CY- 5210) installés en amont de chaque ligne d'attrition qui opèrent en parallèle pour densifier le concentré à 75-80% en poids de solides.

II.4.1.3: Cellules d'attrition

Les quatre cellules d'attrition ou attritionneurs (AT-5212 à AT- 5227) sont des réservoirs carrés avec des cellules doubles pour optimiser l'efficacité d'épuration, pour minimiser les blocages et la possibilité de court-circuit. Cette étape n'élimine que les particules submicroniques et les particules indésirables.

Le concentré ayant subi l'attrition est ensuite dirigé vers une trémie (BN-5228) et quatre cyclones de lavage (CY-5302, CY- 5304, CY-5306 et CY-5308) où il est dilué (il passe de 75 à 60% de solides) et nettoyé des schlamms, avant d'être alimenté aux Floatex.

Les schlamms (ou « slimes ») sont généralement catégorisés comme du minéral très fin ou de l'argile.

Les particules très fines peuvent causer des problèmes quand elles sont présentes en grande quantité, comme altérer le procédé de séparation humide des spirales ou encrasser les équipements durant la séparation sèche.

II.4.1.4 : Séparateur à sédimentation entravée (Floatex) et circuit de spirales

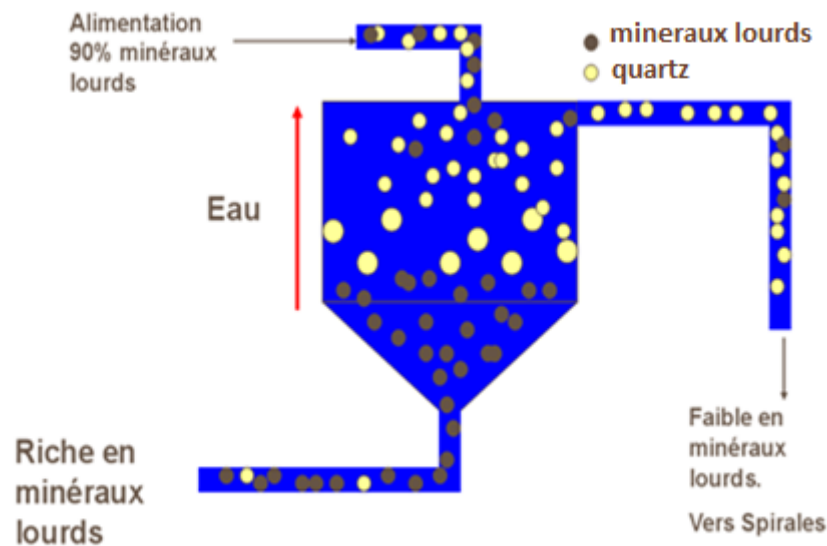


Figure 6 : Schémas du principe d'opération d'un floatex

Quatre floatex (SE-5309 à SE- 5312) permettent de séparer le concentré des stériles (quartz) par gravité.

C'est la séparation primaire.

La surverse des floatex est pompée dans un cyclone (CY-5321) vers les spirales épuiseuses (SS-5401 à SS-5404) afin de récupérer le THM. Le concentré des circuits de spirales et la souverse des floatex forment ensemble le produit concentré final. L'excès d'eau des spirales et de la surverse du cyclone est accumulé et utilisé comme eau d'appoint aux Floatex. L'excès d'eau des floatex est accumulé et pompé vers le bassin de décantation.

Les minéraux sont alimentés sous forme de pulpe sur le dessus, où ils entrent dans une zone de turbulence et de fluidisation créée par un courant d'eau ascendant. Les particules les plus grosses et les plus lourdes (minéraux de titane, zircon) ont tendance à couler vers le fond alors que les particules plus fines et plus légères (quartz) sont poussées vers le haut et sortent avec la surverse.

II.4.1.5. Circuit de manutention du concentré :

Le circuit sert à :

- alimenter le circuit à un débit de 250 t/h lorsque le matériel provient directement du concentrateur;
- alimenter le circuit à partir des réserves de concentré ;
- retirer les gros débris et les retourner vers les piles de sables résiduels;
- maintenir la densité et les débits vers le réservoir BN-5020;
- remettre en solution le concentré drainé;
- maintenir l'alimentation en état de fluidisation grâce à la pompe P-5021 du BN-5020.

Lorsque le débit en provenance du concentrateur descend en dessous de 150 t/h, ce qui signifie qu'une des lignes d'alimentation est arrêtée, l'opérateur doit avertir par radio l'opérateur de la cours afin qu'il commence à récupérer du concentré de la réserve ST-5003 pour maintenir le débit alimenté à 250t/h.

II.4.1.6: Entreposage du concentré

Le concentré nettoyé produit par le circuit de préparation d'alimentation est pompé vers un des quatre cyclones situés au-dessus des huit baies de drainage. Il y sera déshumidifié davantage avant de l'alimenter dans le séchoir du circuit sec. Chaque cyclone peut alimenter deux baies et chaque baie peut retenir environ 3 000 t de concentré. Le débit de sortie du circuit est en moyenne de 150 t/h et chaque baie peut contenir 23 heures de production. Un temps de drainage d'environ 3 jours est prévu, ce qui réduit l'humidité du concentré de minéraux lourds de 4% à 5%.

Les baies sont remplies en alternance et leur contenu est dirigé vers les trémies d'alimentation en rotation, pour maximiser le temps de drainage et optimiser le séchage.

L'utilisation typique des baies est la suivante : 2 baies en remplissage, 5 baies en drainage et 1 baie en déchargement.

Le concentré est alimenté au circuit de production d'Ilménite à l'aide de chargeuses frontales.

Si le concentré était à 90% à la sortie de l'usine flottante, il est à 95% à la sortie du circuit de préparation.

II.4.2: Le circuit de production d'Ilménite (PDC pour « Primary Dry Circuit »)

Il vise à obtenir un produit fini, appelée Ilménite (QMM Conductor), avec une production annuelle de 750 000 t/an. Il en résulte aussi 233 000 t/an de produit non conducteur contenant le VHM utilisé pour produire le Zirsill.

Les principales étapes du procédé sont :

- alimentation du concentré,
- séparation SET,
- séparation magnétique,
- manutention du concentré,

Le circuit de production d'Ilménite est alimenté avec une moyenne de 127 t/h de concentré à 95 % de minéraux lourds, pour produire 95 t/h d'Ilménite, avec une récupération des minéraux de titane de 93 % et un rendement de 75 %.

La récupération des minéraux de titane dans tout le procédé de Rio Tinto QMM est d'environ 84 %.

Le débit de conception de cette usine est de 150 t/h, ce qui devrait couvrir les variations de la minéralogie du THM.

II.4.2.1: Alimentation

Le concentré de minéraux lourds des baies de drainage est alimenté vers deux réservoirs (BN-6006 et 6007) d'une capacité de 1 300 t chacun, identiques aux réservoirs d'alimentation de l'usine FPC. Ces deux réservoirs sont remplis à l'aide d'une chargeuse frontale. Le circuit de chargement est conçu pour recevoir un débit de 500 t/h qui peut être réalisé par la chargeuse frontale, puisque sa capacité est d'environ 800 t/h.

II.4.2.2: Séchoir à lit fluidisé

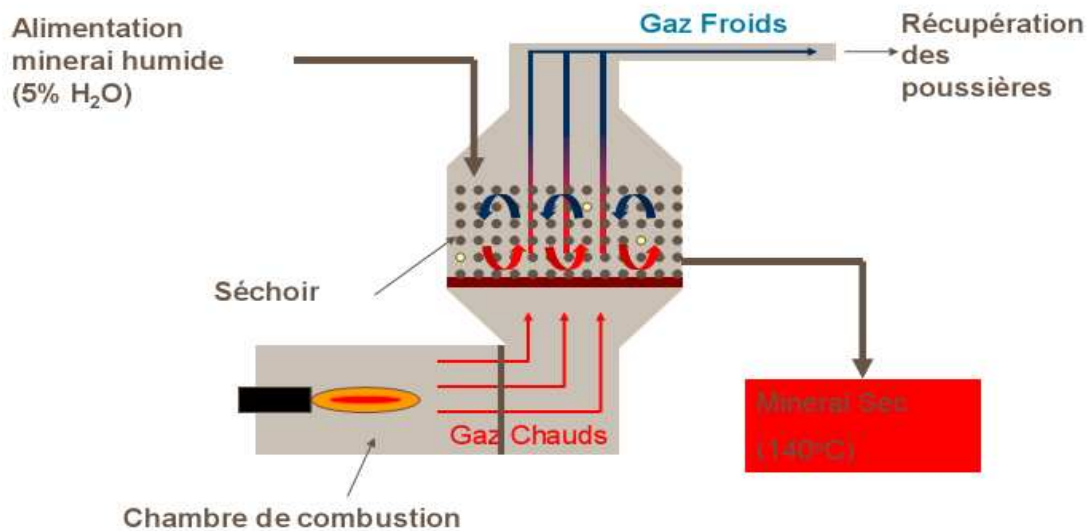


Figure 7 : Schémas du principe d'opération d'un séchoir à lit fluidisé

Le séchoir à lit fluidisé (DR-6100) est alimenté sur des convoyeurs en provenance des réservoirs d'alimentation. Ces convoyeurs alimentent un convoyeur commun comprenant une balance qui contrôle le poids alimenté. L'alimentation de concentré vers le séchoir contient de 3 à 5 % d'humidité. Le séchoir chauffe le concentré à 140°C pour alimenter le circuit en aval avec du minerai chaud et complètement sec. Du mazout ou light fuel oil (combustible utilisé pour les génératrices) est utilisé pour le chauffage.

Les gaz chauds passent dans le lit fluidisé. Un ventilateur soutire les gaz chauds à travers un cyclone qui capte les solides et les retourne dans la décharge du séchoir (si désiré). Les gaz sont nettoyés dans un dépoussiéreur avant d'être évacués à l'atmosphère. Les pertes de fines dans le séchoir sont d'environ 1 % en poids du débit alimenté.

Suite au séchage, le minerai chaud est déchargé sur un tamis vibrant sec (SC-6106), ayant une ouverture de 2 mm, vers une trémie (BN-6115).

II.4.2.3 : Séparateurs électrostatiques à tambour SET (HTR pour « High Tension Roll »)

De la trémie (BN-6115), trois alimentateurs sont utilisés pour alimenter les trois sections de séparateurs primaires (OreKineticsCoronaStat). Il y a quatre étapes en série de séparation SET, où la fraction mixte est retraitée d'étape en étape. Ces étapes ont été appelées primaire (rougher) et épuiseuses (scavenger) 1, 2 et 3.

Le minerai chauffé, afin d'éliminer l'humidité de surface qui pourrait influencer la conductivité, est distribué de façon uniforme sur les rouleaux. Il passe sous une électrode Corona qui charge toutes les particules. Les particules conductrices perdent rapidement leur charge sur la surface du rouleau et sont décollées par les forces centrifuge et gravitationnelle, tandis que les particules non-conductrices, ayant un temps de décharge plus long, restent accrochées au rouleau et sont larguées plus tard. Les trois électrodes du CoronaStat améliorent la séparation, puisque, après la charge par l'électrode filée Corona, une électrode à inductance enlève les minéraux conducteurs et une électrode capacitive permet aux non conducteurs de rester accrochés au rouleau. Ceci résulte en une séparation plus efficace, générant moins de minerai de fraction mixte.

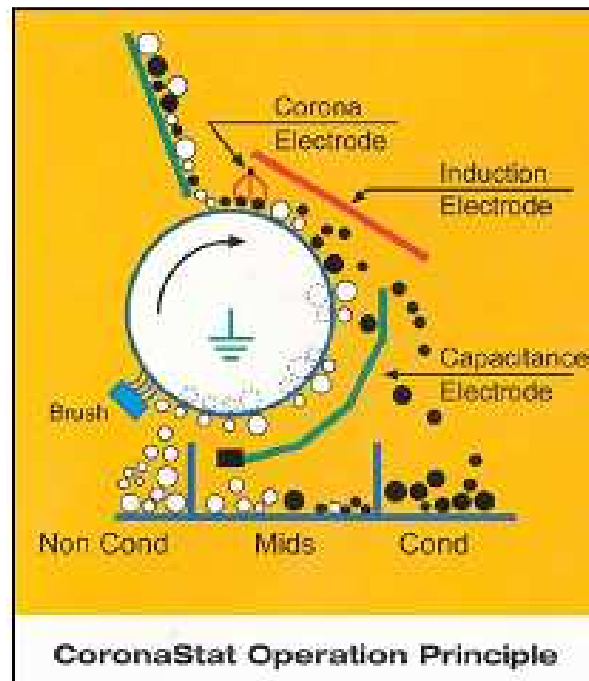


Figure 8: Schéma montrant une étape de séparation SET CoronaStat

Chaque étape de séparation SET CoronaStat consiste en une unité de deux rouleaux où les minéraux conducteurs du rouleau supérieur passent au rouleau suivant par gravité. Chaque séparateur produit une fraction de conducteurs purifiés, deux fractions mixtes (combinées et réalimentées à la prochaine étape de SET) et deux fractions de non conducteurs (combinées et envoyées aux séparateurs magnétiques à rouleaux SMR). Toutes les fractions de minéraux conducteurs sont ensuite réunies pour former le produit Ilménite. Un schéma d'une étape de séparation SET est présenté à la **Figure 8**.

Tous les séparateurs sont installés sur un même niveau, avec les convoyeurs de collecte situés en dessous. Tous les produits conducteurs sont rassemblés en un seul circuit. La fraction mixte de chaque section est collectée et alimentée à la section suivante par un élévateur à godet. De façon standard, un élévateur à godets ne dessert pas plus de 12 machines à la fois. La trémie d'alimentation primaire a une sonde de niveau afin de toujours la garder entre le tiers et la moitié pleine de minerai. Ceci agit comme un dissipateur de chaleur et permet de stabiliser la température d'alimentation des séparateurs primaires.

II.4.2.4: Réchauffeur

C'est une unité à lit fluidisé électrique (DR-6504) à environ 100°C qui sert à réchauffer le minerai qui a refroidi de façon significative après avoir passé les étapes épuiseuses 2 ainsi que le tamisage à sec à 212µm.

Le minerai passera ensuite à l'étape épuiseuse 3.

II.4.2.5: Séparateurs magnétiques à rouleaux SMR (RER pour « Rare Earth Roll »)

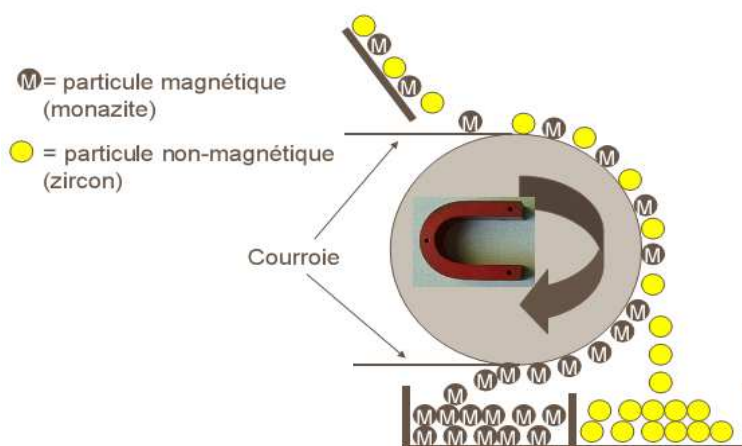


Figure 9: Schéma du principe d'opération d'un séparateur magnétique à rouleaux

Le SMR a une intensité de champ de près de 20 000 Gauss et peut efficacement séparer les particules magnétiquement faibles (tel la monazite) des minéraux non magnétiques (tels le zircon et la sillimanite). Tous les minéraux magnétiques présents dans les étapes de séparation SET sont retirés et considérés comme des stériles magnétiques.

Pour le scénario de base, il est estimé que la séparation donne 48 % de non magnétiques et 52 % stériles magnétiques. Ces stériles ont un haut niveau de monazite et l'aire de travail dans ce secteur doit faire l'objet d'une attention particulière.

II.4.3: Circuit humide de Zirsill (WZC pour « WetZirsill Circuit »)

La fonction du circuit humide de Zirsill est de prendre tous les produits non conducteurs et non magnétiques en provenance du circuit de production d'Ilménite et d'en réduire la teneur en quartz, afin d'obtenir un produit enrichi en zircon et sillimanite.

II.4.3.1: Alimentation du circuit

La fraction non conductrice et non magnétique en provenance du circuit de production d'Ilménite est pompée (P-6805) directement vers la trémie d'alimentation du circuit de production de Zirsill humide, située dans l'usine de préparation du minerai.

Alternativement, si le circuit humide de Zirsill n'est pas en opération, le Zirsill humide produit est pompé vers un cyclone (CY-6806) sur une pile de drainage du Zirsill (ST-6727), adjacente à l'usine FPC. Une chargeuse frontale est utilisée pour remplir la trémie. Ceci rend le circuit humide de Zirsill indépendant du circuit de production d'Ilménite lorsque requis.

II.4.3.2: Circuit de spirales

Dans le circuit de production de zirsill humide, il consiste en 3 étapes de séparation à l'aide de spirales, soit les spirales dégrossisseuses (rougher), nettoyantes (cleaner) et épuiseuses (scavenger), afin de réduire la présence du quartz non conducteur non magnétique dans le produit QMM Zirsill.

Le minerai non conducteur et non magnétique en provenance du circuit de production d'Ilménite est alimenté dans les spirales dégrossisseuses (SS-5416 à 18), où un concentré et stérile sont obtenus. Le concentré (recueilli dans la trémie BN-5419) est retraité dans les spirales nettoyantes, alors que le stérile (recueilli dans la trémie BN-5432) est envoyé aux

spirales épuiseuses. Dans les spirales nettoyantes (SS-5425 à 5427), un concentré, une fraction mixte et de sables résiduels sont obtenus. Le concentré de Zirsill recueilli dans la trémie BN-5435 est pompé vers une empileuse cyclonique qui le déshumidifie. Il est ensuite entreposé pour continuer le drainage naturel. La fraction mixte est recirculée vers la trémie BN-5419, alors que le stérile rejoint celui des spirales dégrossisseuses dans la trémie BN-5432, avant d'être alimenté vers les spirales épuiseuses. Dans les spirales épuiseuses (SS-5429 à 5431), il y a également trois produits. Le concentré et la fraction mixte sont recirculés vers les spirales nettoyantes et épuiseuses respectivement. Le sable résiduel, recueilli dans la trémie BN-5438, est déshumidifié par un cyclone et empilé, avant d'être retourné au bassin d'exploitation minière par camions. Le tableau suivant présente la minéralogie du matériel non conducteur et non magnétique.

Tableau 4 : Minéralogie du matériel non conducteur et non magnétique

Minerai	% en poids
zircon	30
sillimanite	23
Quartz	36
Spinelle	6
OHM (Other Heavy Mineral)	5

La production de Zirsill est établie par le niveau de zircon disponible et des efforts sont faits pour optimiser la récupération du zircon (densité de 4,6) et de la sillimanite (densité de 3,2) à travers le circuit. Les trois étapes de spirales réduisent la teneur en quartz (densité de 2,7) en fonction de la quantité de zircon disponible, afin d'atteindre la teneur requise pour le Zirsill. Le groupe OHM est présent en très petite quantité. Même si sa densité est la plus faible, du quartz sera retenu dans le concentré du circuit humide de Zirsill.

L'objectif de ce procédé est de séparer le minerai et les stériles de Zirsill.

II.4.4: Le circuit sec de Zirsill (DZC pour « Dry Zirsill Circuit »)

L'objectif du circuit sec de Zirsill est de nettoyer le produit du circuit humide Zirsill pour produire le Zirsill final. Les mêmes équipements de séparation que dans les circuits précédents sont utilisés, pour éliminer tous les résidus conducteurs, magnétiques ou grossiers.

II.4.4.1: Alimentation du circuit

Le concentré de Zirsill en provenance du circuit de Zirsill humide est pompé dans un cyclone situé au-dessus des deux baies de drainage du Zirsill. Le minerai est ensuite récupéré à l'aide d'une chargeuse frontale et dirigé vers une trémie à courroie qui alimente un élévateur à godets (BE-7006) vers un réservoir d'alimentation (BN-7010) de 160 t, ce qui est suffisant pour une opération de 24 heures à 7 t/h.

II.4.4.2 : Séchoir à lit fluidisé

Le minerai est ensuite séché dans le séchoir à lit fluidisé (DR-7101). Le séchoir enlève toute l'humidité du produit (bone dry) et monte sa température à environ 110°C, ce qui optimise l'efficacité du procédé de séparation en aval. Le minerai sec du séchoir à lit fluidisé est ensuite dirigé vers un tamis vibrant de 2 mm (SC-7104) pour enlever toute contamination possible avant d'être acheminé aux séparateurs électrostatiques à tambour SET à l'aide d'un élévateur à godets.

II.4.4.3: Séparateurs électrostatiques à tambour (SET)

La séparation est effectuée en deux circuits de séparateurs électrostatiques à tambour SET, primaire (HTR-7202 à 7204) et secondaire (HTR-7205 à 7207), avec les mêmes Ore Kinetics CoronaStat, configurés pour le retrait des non conducteurs. Cet équipement dirige toutes stériles conducteurs vers les sables résiduels.

II.4.4.4: Séparation magnétique à rouleaux (SMR)

Les non conducteurs se dirigent ensuite vers la séparation magnétique (MS-7403 à 7406), pour envoyer les matières magnétiques aux sables résiduels. Les non magnétiques passent ensuite dans un tamis sec ayant une ouverture de 212 microns (SC-7503) pour enlever tous les grains grossiers. Ces derniers sont surtout constitués de quartz mais de grosses particules de sillimanite et de zircon sont aussi perdues comme sables résiduels.

La récupération globale de zircon à travers tout le procédé est d'environ 70 %. Le scénario de base considère une production de ZirSill d'environ 6 t/h pour obtenir 40 000 t/a

Les trois modes d'opération possibles, sont :

- l'alimentation vers les sacs de produits en vrac (à l'aide de la valve XV-7600C);
- l'alimentation vers l'usine d'ensachage et de mise en palette (à l'aide des valves XV-7600A et 7600B);
- l'alimentation directement dans un camion (à l'aide de la valve XV-7600).

II.5: Transport des produits

II.5.1: Contractant en charge du transport des produits chez Rio Tinto QMM

UNIMAT est le contractant en charge du transport des produits résultant de l'usine de séparation minérale chez Rio Tinto QMM.

II.5.1.1: Présentation d'UNIMAT

La logistique UNIMAT est une opération off-shore joint-venture qui a obtenu un contrat pour gérer le transport des matériaux de RioTinto QMM.

Il est détenu à 60% par UNITRANS et 40% par MATERAUTO.

UNITRANS est une partie du groupe steinhoff des compagnies offrant des services de transport diversifié, logistiques et distribution, location de véhicule et vente de moteur.

MATERAUTO est une société Malgache pour le commerce de l'automobile, pièces de rechange, industries du matériel agricole et de construction.

Chez Rio Tinto QMM, UNIMAT consiste au transport de produit fini d'ilménite et de zirsill vers le port d'Ehoala.

Il s'occupe également du transport des produits intermédiaires de l'usine vers des zones de stockage ou vers la mine pour la réhabilitation.

Il s'assure de l'alimentation en matières premières de l'usine à des stades différents du circuit de séparation à l'aide de chargeuse frontale.

De plus, UNIMAT mobilise des mini chargeuses (bob-cat) à l'usine pour le nettoyage des fuites qui ont pu être produites lors des étapes de séparation.

II.5.1.2 : Organisation d'UNIMAT

Actuellement, UNIMAT est composé de 44 personnels dont :

- 11 conducteurs (incluant les conducteurs de trains routiers, semi-remorque, camions bennes)
- 2 conducteurs de bus personnel
- 4 general workers pour les opérations de chargement des trains routiers, fermeture des remorques, pesage au pont bascule
- 7 opérateurs bob-cat pour le nettoyage du plancher de l'usine
- 11 opérateurs chargeuses pour les chargeuses frontales
- 4 superviseurs qui supervisent le transport
- 2 assistants direction
- 1 operation manager
- 1 gestionnaire de contractant
- 1 safety manager pour maintenir un transport sécuritaire.

Pour l'organisation du transport, le personnel est partagé en 3 équipes : shift A, shift B, shift C, qui se permutent entre chaque quart de travail c'est-à-dire le shift de jour (de 6h à 18h) et le shift de nuit (de 18h à 6h).

Chaque équipe est composé de:

- 4 opérateurs chargeuses,
- 6 conducteurs,
- 3 general workers,
- 2 opérateurs bob-cat,
- 1 superviseur

Pendant le shift de nuit, où le transport de produit fini vers le port d'Ehoala n'a pas lieu, les conducteurs de camions et general worker ne sont pas indispensables.

L'organisation du travail journalier se fait ainsi :

- les opérateurs chargeuses et superviseur font 2 jours et 2 nuits de travail consécutif suivis de 2 jours de repos.
- les conducteurs de train routier et camions bennes qui ne travaillent pas la nuit font 4 jours de travail consécutif suivis de 2 jours de repos.

Une équipe polyvalente est requise pour pouvoir faire des échanges de fonction entre les conducteurs et opérateurs.

A part les échanges de fonction, un système de rotation de secteur de travail entre les opérateurs chargeuses est aussi instauré chaque semaine.

II.5.2: Transport du produit fini d'ilménite

Du produit fini d'ilménite est produit chaque jour par le circuit de production d'ilménite. Le transport du produit se fait sur un poste de jour de 10 heures, ce qui signifie que la production de nuit est accumulée dans deux réservoirs d'une capacité d'environ 1 100 t chacun (BN-7003 et 7004).

II.5.2.1: Moyens de transports utilisés

Pour le transport du produit fini d'ilménite vers le port, UNIMAT mobilise 3 trains routiers équipés chacun de 3 remorques.



Photos 1. Un train routier à 3 remorques transportant de l'ilménite

Un train routier est un ensemble routier constitué d'un véhicule tracteur suivi de véhicules remorqués se déplaçant sur le sol sans l'aide de rails. Dans le cas de deux véhicules remorqués il est parfois appelé train double.

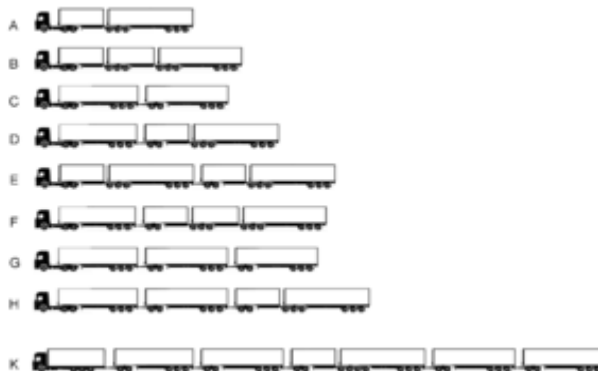


Figure 10: Différents arrangements de train routier, dont l'exemple K, le plus long train routier, appelé *Powertrain* ou *Body and six*, en Australie.

II.5.2.2 : Opération de chargement



Photos 2. Chargement d'un train routier

Lors de l'opération de chargement, les trains routiers se placent en dessous des 2 réservoirs de produit fini d'ilménite.

En effet, les réservoirs sont alimentés par un élévateur à godets (BE-7000) et ils sont situés assez haut pour permettre aux trains routiers de s'arrêter en dessous afin d'être chargés directement.

Dès son arrivée à Mandena, après avoir passé à vide sur le pont bascule, le véhicule place tout de suite sa remorque à charger au-dessous de l'un des 2 silos BN-7003 ou BN-7004. Le general worker se tient prêt à contrôler le chargement selon une consigne précise afin de bien répartir la charge à l'intérieur des remorques.

Le general worker, muni d'un chronomètre, commande l'ouverture du silo et débute en même temps le chronométrage.

L'opération de chargement consiste en :

- chargement de la remorque sous contrôle du general worker
- fermeture du silo
- avancement du véhicule à chaque fin de chargement d'une remorque
- chargement de la remorque suivante
- fermeture des remorques à l'aide d'un levier
- pesage au pont bascule

La durée totale de chargement d'un train routier est de 2,23 mn.

Voici en moyenne les durées de l'opération de chargements de chaque remorque :

Tableau 5 : Durée d'opération de chargement des 3 remorques

Opération de chargement des remorques d'un train routier	
Remorque	Durée (s)
Remorque 1	30
	15
	13
Avancement du véhicule	
Remorque 2	20
	18
Avancement du véhicule	
Remorque 3	30
	15
	13

II.5.2.3: Opération de transport

Les 3 trains routiers travaillent en file tous les jours.

Une vitesse limite de 50 km/h est fixée pour le transport vers le port d'Ehoala.

4 panneaux stops sont rencontrés pendant tout le trajet.



Photos 3: Un des panneaux stop rencontrés pendant le trajet

II.5.2.4: Opération de déchargement

Arrivée au port d'Ehoala, l'opération de déchargement se fait par l'auto-basculement d'une à une des remorques.



Photos 4. Auto-basculement de la remorque pour le déchargement d'ilménite au port.

L'ilménite est emmagasinée dans l'entrepôt principal d'une capacité de 50 000 t, avant qu'il ne soit expédié par bateau.

II.2.5.5: Finalité de l'ilménite

L'ilménite est expédiée à l'usine de réduction de QIT à Sorel, Canada, pour y être transformée en scorie d'une teneur de plus de 90% de TiO_2 .

II.5.3: Transport du produit fini de zirsill

II.5.3.1: Moyen de transport utilisé

Pour le transport de sacs de zirsill, UNIMAT mobilise une semi-remorque plateau au-dessus duquel on pose un container.



Photos 5. Semi-remorque plateau

Une semi-remorque est une remorque routière destinée au transport de marchandises dont la particularité est qu'elle repose sur un ou plusieurs essieux à l'arrière et sur le véhicule tracteur, à l'avant par l'intermédiaire d'une plateforme appelée sellette, de sorte que le tracteur supporte une partie notable du poids de la remorque et de son chargement.

Par abus de langage, on appelle aussi semi-remorque, l'ensemble formé par le tracteur et la remorque. Cet ensemble s'appelle officiellement véhicule articulé. Il existe de nombreux types et dimensions de semi-remorques, selon le genre de transport à effectuer.

II.5.3.2: Opération de chargement



Photos 6. Chargement de sacs de zirsill dans la semi-remorque

Contrairement à l'ilménite, le zirsill est mis dans des sacs de 1000kg. Ces sacs sont ensuite mis dans un container pour leur transport.

II.5.4: Transport des produits intermédiaires de l'usine

Les produits intermédiaires sont les matériaux qui sont produits dans l'usine mais qui peuvent être des stériles ou des produits qui sont encore à traiter. Ces produits sont : des mixtes, des non conducteurs, des rejets feedpreps, ou matériaux pour alimentation feedzirsill.

II.5.4.1: Moyen de transport utilisé

Pour le transport des produits intermédiaires de l'usine, UNIMAT mobilise 2 camions bennes de type ASTRA à 6 essieux.

Un camion benne est un camion équipé d'une benne utilisé pour le transport de matériaux en vrac dont le déchargement se fait par basculement de la benne par l'arrière.

II.5.4.2: Opération de chargement

Les matériaux intermédiaires sont stockés dans des différents bunkers pour être ensuite chargés par une chargeuse et transportés ainsi par 2 camions bennes à différentes localités selon les matériaux à transporter.



Photos 7.Chargement d'un camion benne

II.6: HSE (Health Safety and Environment):

Sur toutes ses activités, la prévention des accidents, la prévention contre les maladies professionnelles et la préservation de l'environnement sont établies comme des valeurs chez Rio Tinto QMM. De ce fait, des paramètres de travail en santé, sécurité et environnement en milieu de travail doivent être respectés entre autres les procédures sécuritaires de travail, les analyses de risques en milieu de travail, les identifications des mesures de contrôles à mettre en place.

En santé des travailleurs, on peut citer prévention contre les effets du bruit, des poussières, des substances dangereuses, de la fatigue, de la radiation, etc...

En prévention des accidents, on peut citer l'isolation électrique ou verrouillage, la conduite de véhicules, les travaux en hauteur ou les travaux dans des espaces confinés, etc...

Enfin en environnement, des programmes sont mis en place pour réduire au minimum les effets de l'exploitation à l'environnement : bruit, air atmosphérique, radiation, vibration, déchets, la biodiversité, etc... Rio Tinto QMM possède une certification ISO 14001.

II.7: Conclusion

Différents produits sortent de l'usine de séparation de minerais tels que les produits finaux et produits intermédiaires et les rejets. Pour le produit final ilménite, le chargement se fait automatiquement tandis que pour le zirsill, le chargement se fait par l'intermédiaire d'un Forklift avant le transport pour le Port Ehoala. Pour les produits intermédiaires et rejets, ils ne sont pas chargés et transportés de façon automatique mais doivent faire l'objet d'une organisation rigoureuse et optimale en tenant compte des paramètres santé-sécurité et environnement en milieu de travail.

**DEUXIÈME PARTIE : PROPOSITION D'OPTIMISATION DU
TRANSPORT DES PRODUITS ET MATÉRIAUX CHEZ RIO
TINTO QMM**

Généralités

Dans le cadre du processus de séparation de l'ilménite et de Zirsill chez Rio Tinto QMM, plusieurs types de matériaux en quantités variées sont à transporter et à déplacer aussi bien dans le site de Rio Tinto QMM qu'au port d'Ehoala. Cette opération doit être assurée quotidiennement.

L'objectif du présent chapitre est d'apporter une meilleure organisation ou une optimisation en matière de transport tout en tenant compte des paramètres de sécurité, coût, productions et engins disponibles.

Tout cela afin de minimiser le coût d'opération de transport tout en respectant la devise de la société : la sécurité d'abord.

Chapitre III: PROBLEMATIQUE DU TRANSPORT DES PRODUITS ET MATERIAUX

Dans ce chapitre, la problématique du transport en matière de coût concernera le transport des matériaux intermédiaires par camions bennes.

Celle du produit fini d'ilménite sera posée en considérant l'atteinte de l'objectif de production qui est de 750 000 t/an.

Puisque le transport de produit fini de zirsill est fait selon la demande des clients, le problème du transport de ce produit ne se posera pas.

III.1 : Inventaire et types de matériaux :

Les matériaux transportés par les camions bennes diffèrent selon les secteurs de l'usine de séparation minérale.

III.1.1: Les types de matériaux

III.1.1.1: Secteur Feedprep et wet zirsill

Les matériaux transportés dans le secteur Feedprep et wetzirsill sont: **HMC feedprep, tails, bad rejets, settling pond, draining bay.**

➤ Description des matériaux

- HMC FeedPrep

Il s'agit des résidus de minerai se trouvant sur le plancher du circuit de préparation de l'alimentation,

Il résulte des étapes de séparation par floatex, une sorte de tamis vibrante.

Ces résidus sont récupérés par mini-chargeuses en stockpile qui va être chargé puis transporté par camions bennes vers le stockage de minerai brut appelé HMC stockpile (st-5003).

Le HMC feedprep peut aussi être le résidu de minerai récupéré par pelle dans le canal se trouvant en dessous d'un convoyeur qui transporte le minerai brut d'une trémie d'alimentation HO-5015 vers la trémie HO-5006 du circuit de préparation de l'alimentation.

- **tails**

Il s'agit des stériles sortants sous forme de pulpe des cyclones CY-5503 et CY-5441 provenant respectivement du circuit de préparation de l'alimentation et du circuit humide zirsill.

En effet, les stériles de l'usine de préparation de l'alimentation et de l'usine humide de Zirsill sont mélangés ensemble et pompés vers un empileur de sables résiduels où ils peuvent être dirigés vers deux cyclones pour être stockés en piles de sable. Ce matériau est chargé puis transporté par camions bennes vers la mine.

- **bad rejets**

Il s'agit d'une sousverse du tamis vibrant SC-5017 produite par le circuit de préparation de l'alimentation. Ce matériau sous forme de pulpe est récupéré par mini-chargeuse en stockpile. Il est mélangé avec le résidu du séchoir du circuit de production d'ilménite pour être chargé puis transporté par camions bennes vers la mine.

- **settling pond**

Il s'agit du matériau véhiculé par l'eau de procédé du circuit humide feedprep et wet zirsill. L'eau de procédé est recueillie dans un canal qui mène vers un bassin de décantation aménagé. Lorsqu'il y a trop de matériaux décantés dans le bassin, une pelle les récupère tandis que l'eau passe au barrage d'eau brute (raw water dam) pour être réapprovisionné à l'usine de séparation. Le matériau est transporté par camions bennes vers le lieu de stockage appelé stockpile settling pond.

- **draining bay**

Il s'agit du matériau récupéré dans le canal d'évacuation à l'arrière des baies de drainage d'ilménite. En effet, avant la séparation sèche, le minerai d'ilménite est stocké dans des baies de drainage pour pouvoir enlever l'eau. Ainsi, dans ce processus un canal collecteur recueille l'eau. Cette eau véhicule toujours des résidus de minerai. Il est ensuite récupéré du canal par tractopelle, et transporté par camions bennes vers le lieu de stockage du minerai brut HMC stockpile.

III.1.1.2: Secteur dry mill

Il s'agit du secteur de l'usine par où se trouve le circuit de production d'ilménite et circuit sec de zirsill.

Les matériaux de ce secteur sont à l'état sec. Ce sont : **mids1, mids2, non conducteur, HMC dry mill, zirsill, mag.**

➤ Description des matériaux

- mids 1

Il s'agit de la dernière fraction mixte résultant de la dernière étape épuiseuse 3 de la séparation des non conducteur et conducteur par rouleau à haute tension du circuit de production ilménite. Il est récupéré dans le bunker ST-6511 pour être transporté par les camions bennes devant les baies de drainage ilménite (stockpile mids1).

Le mids1 va être alimenté par chargeuse dans la trémie HO-6001 pour être retraité dans le circuit de production ilménite.

- mids 2

Il s'agit de la fraction mixte, résultant du traitement du mids1, récupérée également dans le bunker ST-6511 mais transportée vers le lieu de stockage appelé stockpile des mixtes.

Ce matériau sera retraité ultérieurement dans le circuit de séparation.

- non conducteur

Il s'agit de fuite de non conducteur produite lors de la dernière étape épuiseuse 3 de séparation des non conducteur et conducteur par les rouleaux à haute tension qui précède l'étape de séparation magnétique. Ce matériau est transporté par camions bennes vers le lieu de stockage appelé stockpile non conducteur.

Le non conducteur va être retraité ultérieurement dans le circuit de production d'ilménite.

- HMC Dry Mill

Il s'agit des fuites de matériaux produites des poulies de queues des élévateurs à godets suivantes : BE-6200, BE-6218, BE-6233, BE-6301, BE-6401, BE-6501 lors des étapes de séparation par les rouleaux à haute tension du circuit de préparation d'ilménite. Ce sont, donc

des mixtes mélangé au matériau conducteur. Ces matériaux se trouvent sur le plancher de l'usine. Ils sont récupérés par mini-chargeuse en stockpile en dehors de l'usine.

Ils vont être chargés et transportés vers le stockage de minerai brut, HMC stockpile.

Le HMC dry mill peut être aussi le trop plein du convoyeur CV-6101 qui véhicule les sousverses du cyclone du séchoir après passage au traitement de poussière dans l'étape de l'alimentation du circuit de production d'ilménite.

Ce matériau est récupéré dans le bunker CH-6102 pour être, également, chargé et transporté vers le stockage de minerai brut, HMC stockpile.

- **Zirsill**

Il s'agit du matériau non conducteur non magnétique résultant du trop-plein du réservoir BN-6803 récupéré dans le bunker CH-6815. Le réservoir BN-6803 consiste en la récupération du matériau non conducteur non magnétique qui va être directement pompé vers le circuit humide de zirsill. C'est quand il y a panne ou mal fonctionnement du circuit humide zirsill que le trop plein est le plus abondant. Dans ce cas, le matériau est chargé puis transporté par camions bennes vers le stockage de matériau non conducteur non magnétique pour être alimenté dans la trémie d'alimentation du circuit auxiliaire de récupération du zirsill afin de repasser dans le réservoir BN-6803 et être pompé vers le circuit humide zirsill.

- **Mag**

Il s'agit des rejets magnétiques résultant de la séparation magnétique par séparateur magnétique à rouleau du circuit de production d'ilménite. Ce produit est la monazite. Puisque c'est un minéral radioactif, son transport est prioritaire. Il est transporté vers la mine et placé au bord du bassin de décantation de l'eau de procédé pour être ensuite placé au fond du bassin, recouvert de sables résiduels et de top-soil aménagé pour la réhabilitation du site.

Les rejets magnétiques sont pompés directement par pipe vers le bassin minier de la mine et pour être recouvert ensuite par les rejets de celle-ci. Mais lorsqu'il y a dysfonctionnement de la pompe P-6702 servant à le pomper vers le circuit de préparation ou de la pompe P-5604 qui pompe vers la mine, les camions sont tout de suite mobilisés pour le transport. Le chargement se fait directement par une chute du matériau dans la benne du camion.



Photos 8 : Récupération du rejet magnétique

Voici un tableau montrant les types de matériaux selon les secteurs ainsi que leur destination :

Tableau 6: Inventaire des matériaux transportés par camions bennes et leur destination.

Types de matériaux transportés par camions bennes		
Secteur	Matériau	Destination
feed prep et wet zirsill	HMC feedprep	HMC stockpile (st-5003)
	tails	mine (stockpile tails)
	bad rejets	mine (stockpile tails)
	settling pond	Stockpile settling pond
	Draining bay	HMC stockpile (st-5003)
dry mill	mids1	Stockpile mids1
	mids2	stockpile des mixtes
	non conducteur	Stockpile non conducteur
	HMC dry mill	HMC stockpile (st-5003)
	zirsill	Stockpile non conducteur non magnétique
	mag	mine (stockpile rejets magnétique)

III.1.2: Estimation de la quantité des matériaux

A part le tails dont le débit du cyclone de l'empileuse est en moyenne 25 t/h, ces matériaux ne peuvent être exactement quantifiés car il s'agit principalement de résidus de l'usine.

Leur quantité est très variable en temps et en heure car ces résidus dépendent de plusieurs paramètres : l'état du procédé, le temps de fonctionnement de l'usine, la qualité et quantité du minerai traité.

Pour cela, le tonnage journalier a été déterminé en se référant à la charge utile de la benne des camions qui est de 25,86 t et la moyenne du nombre de voyage journalier effectué par les camions bennes.

Les matériaux non énumérés dans le **tableau 7** tels que settling pond, mids2, mag et non conducteur ne sont pas quantifiables car ils se produisent d'une manière imprévue et très rarement. Ils sont donc considérés comme non influençant le transport.

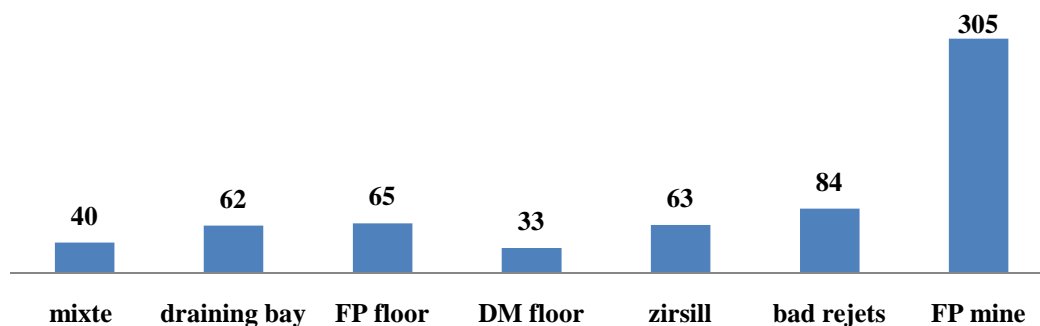
Tableau 7 : Estimation du tonnage journalier des matériaux

type de matériaux	N (nombre de voyage)	quantité (t/j)=N *25,86
HMC FeedPrep	6	155,16
tails	23	600,00
Bad rejets	7	181,02
drainingbay	7	181,02
mids1	4	103,44
HMC dry mill	4	103,44
zirsill	7	181,02

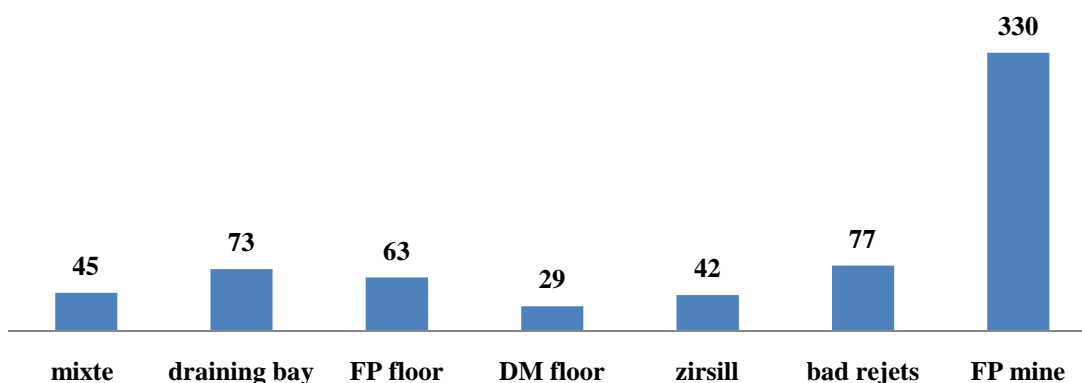
III.2 : Organisation et mode de transport des matériaux existants

➤ Analyse de la situation de transport de matériaux

Les 2 graphes ci-dessous représentent le nombre total des voyages effectués par les 2 camions respectivement, ASTRA 6648G et ASTRA 6648F, statistique du mois de Juillet 2012.



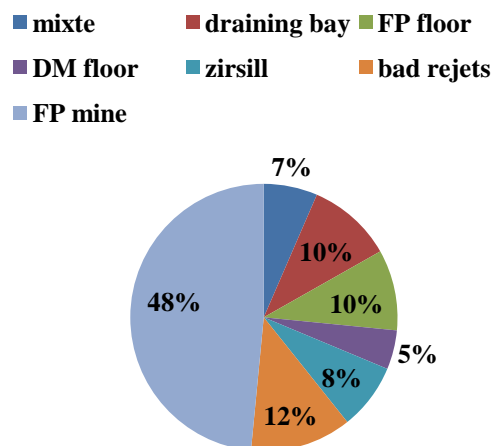
Graphe 1 : Statistique Juillet 2012 du nombre de voyage fait par 6648G



Graphe 2 : statistique Juillet 2012 du nombre de voyage fait par 6648F

En général, ce sont les 2 camions bennes qui sont mobilisés pour le transport de chaque type de matériaux.

On peut déduire à partir du nombre de voyage des camions bennes, l'importance que représente le transport de chaque matériau en matière de quantité.



Graph 3 : Représentation en pourcentage de l'importance de transport de chaque matériau

D'après ce diagramme, c'est le tails (FP mine) qui occupe la moitié des produits transportés.

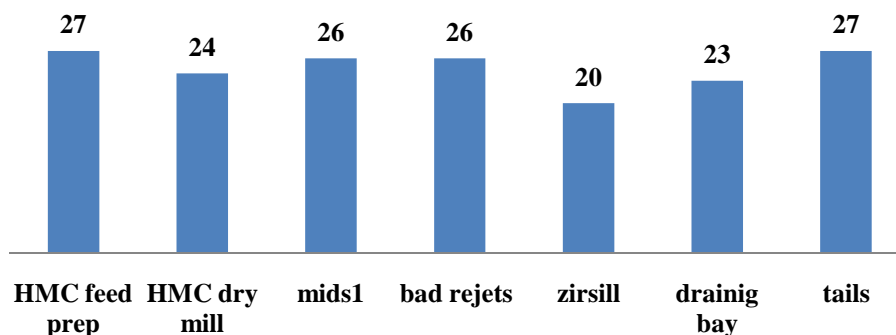
En effet, c'est le matériau le plus important en quantité qui est de 600 t/j (**tableau 7**).

Selon leur quantité, les matériaux tels que draining bay, HMC feedprep et bad rejets sont en deuxième priorité en matière de transport.

Celui qui représente le moins transporté est le HMC dry mill suivi du mixte puis du zirsill. Ces matériaux sont en faible quantité respectivement de 103,44 t/j; 103,44 t/j; 181,02 t/j. (**tableau 7**).

III.3 : Analyse et statistique du temps de transport de chaque type de matériaux

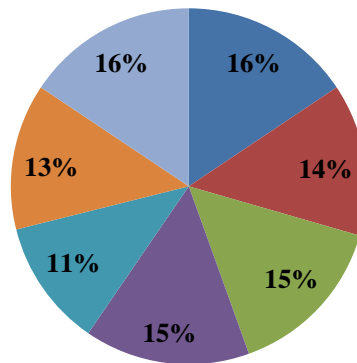
Le graphe suivant montre les jours de transport pour chaque type de matériaux pendant le mois de Juillet 2012.



Graph 4 : statistique Juillet 2012 des jours de transport pour chaque type de matériaux.

D'après le graphe ci-dessus, le graphe suivant représente l'importance en temps de transport pour chaque type de matériaux :

■ HMC feed prep ■ HMC dry mill ■ mids1 ■ bad rejets
■ zirsill ■ drainig bay ■ tails



Graphe 5: Représentation en pourcentage

D'après le graphe ci-dessus, le HMC feedprep et tails nécessitent beaucoup de temps de transport (16%). Leur transport signifie le nettoyage de l'usine qui doit se faire tous les jours. Ensuite, suit, le transport du mids1 (15%), bad rejets (15%), HMC dry mill (14%).

Le transport du draining bay nécessite 13 % du temps de transport.

En effet, le transport de draining bay ne peut se faire qu'en l'absence du tractopelle servant à récupérer le matériau du canal.

Le zirsill, qui ne nécessite que 11% du temps de transport ne se transporte que lorsque sa quantité atteint la capacité de la benne d'un camion. Cela peut prendre plusieurs jours selon l'état du circuit humide zirsill.

III.4: Temps de transport nécessaire

Le temps de transport est le plus important paramètre à considérer car le coût d'opération de transport est tarifié par heure.

Il diffère d'un matériau à un autre car dépend des temps de chargement, temps de trajet aller, temps de déchargement et temps de trajet retour, des camions bennes.

III.4.1: Temps de chargement

C'est le temps que met une chargeuse à remplir la benne d'un camion pour le transport d'un matériau.

Le chargement prend plus de temps lorsque les matériaux à l'état sec se trouvent entassés en petite quantité. C'est-à-dire lorsque la quantité de matériau est inférieure ou égale à la charge utile d'un seul camion benne.

C'est le cas qui se présente souvent pour les matériaux tels que mids 1, HMC dry mill puisque ces matériaux sont à l'état sec et nécessitent souvent un entassement hors des bunkers lorsque ceux-ci sont surchargés.

Le HMC dry mill se trouve le plus souvent entassé en dehors des bunkers par mini-chargeuse.

Dans ces cas, les matériaux entassés requièrent des cycles de chargeuses répétitifs pour pouvoir les charger entièrement dans la benne du camion.

Un cycle de chargeuse comprend les opérations suivantes :

- l'attaque de l'emprunt
- chargement du godet
- recul et élévation du godet
- avancement vers la benne de camion ou vers une trémie d'alimentation
- déchargement du godet
- recul et avancement du godet

Cependant, les matériaux chargés directement à partir des bunkers nécessitent moins de cycle de chargeuse même en petite quantité car ils sont plus faciles à manipuler grâce à l'appui qu'offre le fond des bunkers au godet de la chargeuse.

Le temps de chargement dépend aussi du temps de manœuvre de chargement qui diffère selon l'espace qu'offre chaque secteur de chargement des matériaux.

Lorsque l'espace de chargement est étroit cela prend plus de temps à la chargeuse ainsi qu'au camion pour se positionner.

Les temps de chargement obtenus à partir de plusieurs mesures de chronométrage de chargement pour chaque type de matériaux sont donnés dans le **tableau 8**.

III.4.2 : Temps de trajet aller-retour

Le temps de trajet aller diffère pour chaque type de matériaux car leurs destinations sont différentes. A cause de l'état des pistes qui sont souvent sableuses et étroites, un camion ne peut atteindre qu'une vitesse maximale de 25km/h. De plus, les camions doivent se faufiler entre les différents stockpiles.

Pour ce qui est du trajet retour, les bennes sont vides et ainsi, les camions peuvent aller beaucoup plus vite durant son parcours.

Le **tableau 8** donne une moyenne du temps de trajet aller-retour pour chaque type de matériaux obtenu lors de mesures de chronométrage.

La figure suivante illustre l'état d'une piste d'accès qu'empreintent souvent les camions bennes pour effectuer le transport de matériaux.



Photos 9 : Piste d'accès des camions bennes à l'intérieur du site de Mandena

III.4.3 : Temps de déchargement

Le temps de déchargement diffère aussi pour chaque type de matériaux car il dépend du temps de manœuvre nécessaire aux camions bennes pour effectuer l'opération de déchargement.

Il dépend aussi de l'état du site de déchargement.

Le temps de déchargement obtenu à partir des mesures de chronométrage est donné dans le **tableau 8**.

- **Statistique**

Les tableaux suivants montrent la moyenne des temps de transport pour chaque matériau :

Tableau 8: Durée d'un voyage pour chaque type de matériaux

Durée d'un voyage (mn)					
Matériaux	Chargement	Trajet aller	Déchargement	Trajet retour	Temps d'un transport
zirsill	4,26	3,99	1,56	3,92	13,73
mids1	5,03	4,73	1,91	4,2	15,87
HMC dry mill	4,44	2,96	1,27	2,54	11,21
HMC FeedPrep	5,34	2,89	1,27	2,38	11,88
bad rejets	5,34	5,53	2,21	5,22	18,3
drainingbay	4,25	2,44	1,23	1,94	9,86
tails	2,07	4,98	2,21	4,36	13,62

Tableau 9 : Temps de transport journalier estimé

Temps de transport journalier estimé (mn)			
Matériaux	Voyage journalier	Durée d'un voyage	Temps de transport
zirsill	7	13,73	96,11
mids1	4	15,87	63,48
HMC dry mill	4	11,21	44,84
HMC FeedPrep	6	11,88	71,28
bad rejets	7	18,3	128,1
drainingbay	7	9,86	69,02
tails	23	13,62	313,26

III.5 : Temps d'attente des camions bennes

Les principales raisons d'attente des camions sont :

- attente d'affectation
- attente due à la chargeuse
- file d'attente de refueling

III.5.1: Attente d'affectation

L'attente d'affectation est l'attente de nouvelles tâches à faire par l'un ou les deux camions. Elle se produit lorsque les tâches principales des deux camions bennes sont terminées bien avant la fin de leur shift de travail. C'est le cas lorsque les matériaux à transporter sont en petite quantité.

III.5.2: Attente due à la chargeuse

L'attente due à la chargeuse constitue la principale raison d'attente des camions (**tableau10**).

En effet, actuellement 3 chargeuses frontales sont mobilisées à l'intérieur du site ayant chacun leur fonction spécifique :

- une chargeuse pour l'alimentation de la trémie (HO-5015)
- une chargeuse pour l'alimentation de la trémie (HO-6001)
- une chargeuse pour le chargement des camions, alimentation de la trémie d'alimentation du circuit sec zirsill (HO-7007) et chargement des trains routiers de l'ilménite du hangar de débordement.

III.5.2.1: La chargeuse pour l'alimentation de la trémie (HO-5015)

Une chargeuse assure l'alimentation de la trémie d'alimentation HO-5015 en concentré de minerai lourd à partir du HMC stockpile. Cette chargeuse doit s'assurer que des matériaux secs seulement sont alimentés dans la trémie. Elle cherchera alors parmi les stockpiles ceux qui sont les plus secs.



Photos10 : Chargeuse au secteur du stockage de minerai brut

III.5.2.2: La chargeuse pour l'alimentation de la trémie (HO-6001)

Une autre chargeuse est affectée en permanence au secteur des baies de drainage ilménite pour l'alimentation de la trémie HO-6001. Cette chargeuse doit assurer que les matériaux alimentés soient suffisamment secs. Cela nécessite l'alternance de l'alimentation d'une baie à une autre.



Photos 11 : Chargeuse au secteur des baies de drainage ilménite

III.5.2.3: La chargeuse pour le chargement des camions bennes

Une chargeuse a pour tâche de charger les camions bennes à partir des matériaux contenus dans les bunkers et stockpiles formés par mini-chargeuse aux différents secteurs de l'usine.

La chargeuse s'occupe aussi d'évacuer le matériau des bunkers et d'en faire des stockpiles dans le cas de débordement.

Cette chargeuse s'occupe d'autres tâches telles que :

- alimentation de la trémie d'alimentation HO-7007 du circuit de zirsill sec à partir du minerai des baies de drainage du zirsill.
- chargement de train routier à partir de l'ilménite du hangar (overflow shed).

Le temps d'attente due à la chargeuse se produit principalement lorsque cette chargeuse accomplit ces tâches.



Photos 12 : Chargement de camion benne

Le godet des chargeuses

Les chargeuses d'UNIMAT sont équipées des deux types de godet : godet à lame à dent et godet à lame lisse.



Photos 13: Godet à lame à dents



Photos 14 : Godets à lame lisse

Pour travailler, les godets doivent toujours être équipés d'une lame.

Les lames à dents sont destinées aux travaux d'arrachage tandis que les lames lisses pour les matériaux meubles.

III.5.3: File d'attente de refueling

Le refueling ou le plein de carburant se fait à la station Jovenna, un contractant pour le ravitaillement en carburant chez Rio Tinto QMM.

Il se fait à la fin des opérations de transport c'est-à-dire vers la fin du shift de travail des camions bennes.

Des files d'attente se produisent souvent car une seule station satisfait le ravitaillement en carburant de tous les véhicules circulant à l'intérieur de Mandena (véhicules personnels et engins de transport).

Cependant, il représente le moins important temps d'attente des camions (**tableau10**).

- **Statistique**

La statistique des temps d'attente des camions bennes de la période du mois de Juillet 2012 est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 10: Statistique Juillet 2012 des temps d'attente

Temps d'attente de Juillet 2012	
Raison d'attente	Temps (mn)
attente d'affectation	1 257,00
attente due à la chargeuse	1 796,40
attente de refueling	134,76
temps d'attente total	3 188,16

III.6: Condition de transport

III.6.1: Condition pour le transport de produit fini vers le port

Le transport de produit fini d'ilménite par trains routier et de zircons par semi-remorque se fait en un poste de 10 h/j. Les transports de nuit ne sont pas autorisés. Les conducteurs font 4 jours de travail consécutif suivis de 2 jours de repos.

Ils suivent un rythme de travail monotone et répétitif nécessitant une position assise prolongée.

III.6.2 : Condition pour le transport par camion benne

En principe, les camions bennes sont utilisés 24 h / 7 j.

Mais suite à un accident survenu au passé, le transport par camion benne ne se fait que rarement la nuit.

Les conducteurs de camions bennes travaillent donc en rotation de 12 heures par poste.

Par rapport au transport de produit fini, le transport par camion benne est moins monotone car il offre un itinéraire varié.

Cependant leurs pistes d'accès sont très instables puisqu'ils consistent principalement à du sable.

III.6.3: Condition pour la conduite des chargeuses frontales

L'opération des chargeuses frontales se fait en 24 h/7 j.

Ils font 2 jours et 2 nuits de travail consécutif suivis de 2 jours de repos.

Pendant le shift de nuit, la chargeuse qui sert à charger les camions bennes évacue les matériaux des bunkers débordés et forme des stockpiles dont le transport attendra le prochain shift de jour.

Puisque les secteurs des chargeuses nécessitent leur présence en permanence, c'est au moment de pause-déjeuner qu'ils se font remplacer, puis reprennent tout de suite après leur fonction.

L'alimentation des trémies nécessite le maintien d'un rythme régulier à l'opérateur chargeuse. En plus, elle se fait à de petits intervalles de temps selon la demande du contrôle de l'usine.

Une alimentation de 130 à 140 t/h consiste à alimenter la trémie d'alimentation HO-5015 de 6 à 8 godets de minerai tous les 30 mn.

Une alimentation de 170t/h consiste à alimenter la trémie d'alimentation de HO-5015 de 6 à 5 godets de minerai tous les 15 à 20 mn.

L'alimentation de la trémie HO-6001 nécessite quasiment le même rythme.

III.7: Environnement des conducteurs

Les conducteurs sont exposés à un environnement de bruit, de poussière, vibration, radiation....

Cependant, une limite **LEMT (Limite d'Exposition en Milieu de Travail)** ne doit pas être dépassée.

Pour contrôler l'exposition des travailleurs et afin de pouvoir prendre des mesures adéquates, les responsables en Hygiène Industrielle font des mesures périodiques de bruit, de poussière totale, et de radiation.

III.7.1: Exposition au bruit

Les bruits sont mesurés à l'aide de sonomètre qui donne l'exposition en dB.

Les LEMT sont :

- 85 dBA pour les shifts de 8 heures
- 82 dBA pour les shifts de 12 heures

Les résultats des mesures de bruit à l'UNIMAT sont donnés dans le tableau ci-dessous:

Tableau 11 : Résultat de mesure de bruit

DEPARTEMENT	FONCTION DE L'EMPLOYE	DATE	Niveau de bruit (DbA) pour 8h	Niveau perçu par les travailleurs (DbA) pour 12h	Protection auditive
UNIMAT	Conducteur chargeuse frontale	Juil-12	81	81	Sans protection
UNIMAT	Conducteur chargeuse frontale	Juil-12	77	77	Sans protection
UNIMAT	Conducteur chargeuse frontale	Juil-12	81	81	Sans protection
UNIMAT	Conducteur mini-chargeuse	Juil-12	85	71	Bouchon d'oreilles
UNIMAT	Conducteur chargeuse frontale	Juil-12	76	76	Sans protection
UNIMAT	Conducteur chargeuse frontale	Juil-12	72	72	Sans protection
UNIMAT	Conducteur mini-chargeuse	Juil-12	87	76	Coquille
UNIMAT	Conducteur mini-chargeuse	Juil-12	84	73	Bouchon d'oreille

De ce tableau, on déduit que les conducteurs de mini-chargeuse sont exposés à un niveau de bruit 87dBA supérieur à la limite pour un shift de 8 heures.

Interprétation : Ils travaillent à l'intérieur de la mini-chargeuse avec cabine fermée.

III.7.2: Exposition à la poussière totale

La poussière totale est mesurée à l'aide d'un appareil détecteur de poussière.

Pour un shift de 8 heures la LEMT est de 10mg/m.

Le résultat des mesures de poussières totales au sein de l'UNIMAT ont donné les résultats ci-dessous:

Tableau 12 : Résultat de mesure de poussière totale

DEPARTEMENT	FONCTION DE L'EMPLOYE	DATE D'ECHANTILLONNAGE	Concentration poussières totales	Concentration des poussières en %
UNIMAT	Conducteur camion benne	29/05/12	0,10	1%
UNIMAT	Conducteur camion benne	29/05/12	0,08	1%
UNIMAT	Conducteur camion ilménite	29/05/12	0,08	1%

Le niveau d'exposition des conducteurs à la poussière totale dans le milieu de travail ne dépasse pas la limite d'exposition.

III.7.3: Exposition à la radiation

La radiation est mesurée à partir de dosimètre à lecture directe.

La limite d'exposition annuelle est de 20 Sv/an.

La mesure faite pour les opérateurs d'équipement de manutention a donné un résultat de

2,86 mSv/an ce qui est très loin de la limite d'exposition annuelle.

III.7.4: Exposition à la vibration

D'une part, le conducteur de semi-remorque pour le transporteur de zirsill est exposé à des vibrations lors du trajet aller.

En effet, le container se trouve à l'extrémité arrière du camion. Lorsqu'il est chargé, le container atteint un poids de 30 tonnes tandis que le véhicule tracteur pèse environ 15 tonnes.

Un déséquilibre entre le poids du container et le poids du véhicule tracteur provoque une vibration.

Cependant lors du trajet retour, la vibration n'est plus sentie car le poids du container et du véhicule tracteur est équilibré.

D'autre part, les conducteurs de camions bennes subissent pendant 10 heures de travail effectif des secousses provoqués lors des chargements, déchargement et transport sur des pistes instables.

III.7.5: Exposition à la chaleur

Lors des périodes sèches, les conducteurs de chargeuses frontales et de mini-chargeuses sont exposés à la chaleur à l'intérieur de leur cabine. Boire régulièrement de l'eau n'est pas pratiquement faisable selon leur rythme de travail. Cela a de l'impact sur l'ergonomie, donc de l'efficacité et de la santé du travailleur.

III.8: Coût de transport engendré

III.8.1: Coût fixe et coût variable

Le coût de transport considère à la fois le coût fixe et le coût variable.

Les factures mensuelles consistent à la somme des coûts fixes et coût variables de chaque équipement de transport (**Tableau 13, Tableau 14, Tableau15**).

Les coûts fixes sont constitués des frais qui ne sont pas liés au fonctionnement de l'engin tels que :

- coût d'amortissement
- coût d'immobilisation de capital ou de crédit
- coût des frais d'immatriculation, assurance, taxes.

Les coûts variables sont associés à l'usage de l'équipement et ils sont constitués des éléments suivants :

- coût en entretien, carburant et lubrifiant
- coût en usure des pneumatiques
- coût des réparations

Pour les camions bennes et chargeuses frontales, le coût variable est tarifé par heures de travail accompli tandis que celui des trains routiers est tarifé par tonnes de produits transportés.

1 Euro=2783,47Ariary (cours des devises du mois de Juillet 2012).

REMARQUE IMPORTANTE

Il est à noter que les coûts indiqués dans ce rapport ne sont pas les coûts réels d'opérations par soucis de confidentialité. Par contre, les valeurs décrites dans tous les tableaux ont été mis comme référence pour la véracité des calculs. Les chiffres sont donnés par la formule :

Coût indiqué : coût réel x Δ avec Δ : constant (défini par le rapporteur)

Tableau 13 : Coût fixe des équipements de transport relevé de la facture du mois de Juillet 2012

coût fixe des équipements (Ar)			
Equipement	Nombre	Coût fixe unitaire	Coût fixes totales
train routier	3	15 080 483,45	45 241 450,33
camions bennes	2	9 234 916,859	18 469 833,72
chargeuses frontales	3	9 852 628,863	29 557 886,59

Tableau 14 : Coûts variables horaires des équipements relevés de la facture du mois de Juillet 2012

Coût variable horaires des équipements(Ar)			
Equipements	Heures	coût (Ar/h)	Coût total
camions bennes	364	124 913,78	45 468 617,16
chargeuses frontales	1 193	109 133,46	130 196 213,91

Tableau 15 : Coût variable des trains routiers relevé de la facture de mois de Juillet 2012

Coût variable des trains routiers (Ar)			
Equipements	Tonnages transportés	Coût (Ar/t)	Coût total
trains routiers	51 186,76	2 030,27	103 922 738,48

III.8.2 : Coût d'attente des camions bennes

Le coût d'attente des camions bennes est la représentation par rapport au coût fixe de la statistique des temps d'attentes du mois de Juillet 2012 (**tableau16**).

Le coût total d'attente qui est de **1 319 202,63 Ar** représente seulement **7%** du coût fixe des deux camions bennes du mois considéré.

Le coût unitaire d'attente est de 24 825, 04 Ar/h.

Tableau 16 : Coût d'attente des camions bennes

Raison d'attente	Temps (h)	Coût (Ar)
attente d'affectation	20,95	520 084,59
attente dû à la chargeuse	29,94	743 261,70
attente de refueling	2,25	55 856,34
Total	53,14	1 319 202,63

Chapitre IV: PROPOSITION D'OPTIMISATION DU TRANSPORT [3], [4], [5], [6], [7]

Afin d'apporter une opération de transport optimisée, plusieurs paramètres seront considérés dans ce chapitre.

Pour la rentabilité, nous allons :

- déterminer le nombre optimal de camion à partir de la méthode du réseau fermé de file d'attente
- minimiser le temps d'attente de chargeuse en organisant le transport
- proposer le type de godet idéal afin de maximiser le rendement d'une chargeuse
- proposer de nouvelles feuilles de routes plus pratiques pour les conducteurs de camions et opérateur de chargeuse.

Des solutions seront également apportées pour préserver le bon état de la sécurité, environnement, santé et Hygiène des travailleurs.

IV.1: Minimisation de temps d'attente d'affectation des camions bennes

Elle a pour objectif de minimiser les coûts correspondant aux attentes des camions bennes (**tableau 16**).

La détermination du nombre optimal de camion affecté à chaque source de matériaux aidera à minimiser le temps d'attente d'affectation.

IV.1.1: Détermination du nombre optimal de camion par la théorie du réseau fermé de file d'attente.

IV.1.1.1: La méthode de la théorie du réseau fermé de file d'attente

Elle est utilisée pour l'optimisation du système camion-pelle dans les mines à ciel ouvert afin de déterminer le nombre optimal de camion à affecter à une pelle dans l'objectif de minimiser le coût d'opération de transport.

Nous allons donc adapter cette méthode à celui du système camion-chargeuse de notre cas.

Un cycle de camion comporte 4 phases :

1. phase de chargement
2. phase de trajet chargé
3. phase de déchargement
4. phase de trajet déchargé.

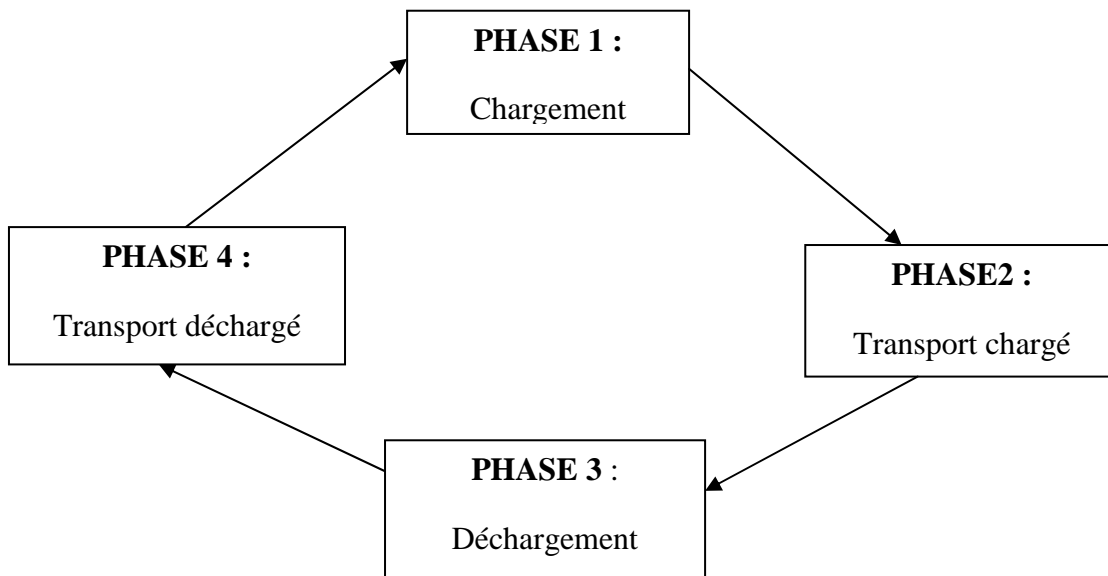


Figure 11: Cycle d'un camion dans une mine à ciel ouvert

Le nombre d'état possible du système est déterminé par la formule suivante :

$$\left(\frac{N+M-1}{N} \right) = \frac{(N+M-1)!}{(M-1)!N!} \quad (1)$$

Avec,

N: nombre de camion

M: nombre de phase

$P(n_1, n_2, K, n_M)$ est la probabilité des états du système tels que n_1 est le nombre de camion à la phase 1, n_2 est le nombre de camion à la phase 2 et ainsi de suite.

La probabilité des états du système est déterminée par la formule suivante :

$$P(n_1, n_2, K, n_M) = \frac{\mu_1^{N-n_1}}{\mu_2^{n_2} \mu_3^{n_3} \wedge \mu_M^{n_M}} P(N, 0, K, 0) \quad (2)$$

Avec

μ_i : taux de service à la phase i tel que

Phase 1 : service de chargement

Phase2 : service de transport aller

Phase3 : service de déchargement

Phase4 : service de transport retour

$P(N, 0, K, 0)$ est la probabilité qui considère les phases 2 et phase 4 comme négligeable.

$$\mu_i = 1/t_i \quad (3)$$

Puisque $\sum P(n_1, n_2, K, n_M) = 1$

$$P(N, 0, K, 0) = \left[\sum \frac{\mu_1^{N-n_1}}{\mu_2^{n_2} \mu_3^{n_3} \wedge \mu_M^{n_M}} \right]^{-1} \quad (4)$$

En utilisant les valeurs des probabilités, les mesures de performance en phase de chargement et déchargement peuvent être déduites par les formules suivantes :

$$\eta_1 = 1 - \sum P(0, n_2, n_3, n_4) \quad (5)$$

$$\eta_3 = 1 - \sum P(n_1, n_2, 0, n_4) \quad (6)$$

Avec

η_1 : performance en chargement

η_3 : performance de déchargement

Le nombre de camion servi à une phase i en une unité de temps est déterminé par la formule suivante:

$$\Theta_i = \eta_i \mu_i \quad (7)$$

Le nombre moyen de camion en file d'attente à une phase i est :

$$L_{qi} = (n_i - 1) \sum P(n_1, n_2, K, n_M) \quad (8)$$

Le temps moyen de file d'attente en phase de chargement est :

$$W_{q1} = L_{q1} / \Theta_1 \quad [mn] \quad (9)$$

Le temps moyen de file d'attente en déchargement est :

$$W_{q3} = L_{q3} / \Theta_3 \quad [mn] \quad (10)$$

Le temps de cycle total d'un camion est:

$$T_{cy} = \frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} + \frac{1}{\mu_3} + \frac{1}{\mu_4} + W_{q1} + W_{q3} \quad [mn] \quad (11)$$

Le rendement d'une flotte de camion en une période considérée est :

$$P = \frac{T}{T_{cy}} \times N \times C_u \quad [t] \quad (12)$$

Avec

P : Rendement d'une flotte de camion [t]

T : est la période considérée [mn]

N : nombre de camion

C_u : charge utile du camion benne [t],

$C_u = 25,860$ [t]

Le coût unitaire de transport est déterminé par la formule suivante :

$$C = \frac{Nc_1 + c_2}{P_u \times C_u} \quad [Ar/t] \quad (13)$$

C : coût du transport unitaire [Ar/t]

c_1 : coût par unité de temps des camions [Ar/mn]

c_2 : coût par unité de temps d'une chargeuse [Ar/mn]

C_u : charge utile d'un camion [t]

P_U : production unitaire des camions [t/mn].

IV.1.1.2: Application sur les camions bennes

a. Détermination du coût unitaire de transport par un seul camion benne

Dans le cas d'un seul camion benne, le temps de cycle total ne prend pas en compte les temps d'attente en chargement ni en déchargement.

Les temps de cycle que nous utiliserons proviendront donc directement des mesures de chronométrage (**tableau 8**).

Le rendement d'un camion benne est déterminé par la formule (12) pour chaque type de matériaux selon le temps moyen estimatif qui leur est consacré.

Tableau17 : Rendement d'un camion benne pour chaque type de matériaux

Rendement d'un camion benne (t)			
Matériaux	T(mn)	$T_{cy}(mn)$	P (t)
zirsill	96,11	13,73	181,02
mids1	63,48	15,87	103,44
HMC dry mill	44,84	11,21	103,44
HMC FeedPrep	71,28	11,88	155,16
bad rejets	128,1	18,3	181,02
drainingbay	69,02	9,86	181,02
tails	313,26	13,62	594,78

Le coût unitaire de transport d'un camion benne est déterminé par la formule (13)

Le coût par minute d'opération d'un camion benne et chargeuse est déterminé à partir du coût horaire d'opération (**tableau 14**).

Il est de **2 081,90 Ar/mn** pour un camion benne et **1 818,89 Ar/mn** pour une chargeuse frontale.

Tableau 18 : Coût unitaire de transport d'un camion benne pour chaque type de matériaux

Coût unitaire de transport (Ar/t)		
Matériaux	P_u (t/mn)	C (Ar/t)
zirsill	1,88	80,23
mids1	1,63	92,54
HMC dry mill	2,31	65,30
HMC FeedPrep	2,18	69,20
bad rejets	1,41	106,98
drainingbay	2,62	57,58
tails	1,9	79,39

b. Détermination du coût unitaire de transport par flotte de deux camions bennes

Pour cela il nous faudra déterminer la probabilité des états possibles que peut avoir la flotte de deux camions bennes.

En utilisant la formule (1), avec $N=2$ et $M=4$, la flotte de 2 camions bennes a 10 états possibles.

Les probabilités des états de la flotte de deux camions sont déterminées par la formule (2).

La performance en chargement et en déchargement η_i est déterminée respectivement par les formules (5) et (6)

Le nombre de camion servi en phase de chargement et déchargement Θ_i est déterminé par la formule (7) avec respectivement $i=1$ et $i=3$.

Le nombre moyen de camion en file d'attente en chargement et déchargement L_{q_i} est déterminé par la formule (8) avec respectivement $i=1$ et $i=3$.

Le temps moyen de file d'attente en phase de chargement et déchargement W_{q_i} est déterminé respectivement par les formules (9) et (10).

Le temps de cycle total T_{cy} est déterminé par la formule (11).

Le rendement d'une flotte de camion benne P en une période considérée T est déterminé par la formule (12).

Le coût de transport unitaire C est déterminé par la formule (13).

Les taux de chargement, trajet aller, déchargement, trajet retour, respectivement μ_1 , μ_2 , μ_3 , μ_4 sont déterminés par la formule (3) à partir des mesures de chronométrage faites à chaque phase de transport des camions bennes.

Ces valeurs sont nécessaires pour déterminer la probabilité des états du système pour chaque type de matériaux.

Elles sont données dans le tableau suivant :

Tableau 19 : Taux de chargement μ_1 , trajet aller μ_2 , déchargement μ_3 , trajet retour μ_4

Matériaux	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
zirsill	0,23	0,25	0,64	0,26
mids1	0,20	0,21	0,52	0,24
HMC dry mill	0,23	0,34	0,79	0,39
HMC feedprep	0,19	0,35	0,79	0,42
bad rejets	0,19	0,18	0,45	0,19
drainingbay	0,24	0,41	0,81	0,52
tails	0,48	0,20	0,45	0,23

La probabilité des états du système d'une flotte de deux camions est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 20 : Probabilité des états du système d'une flotte de deux camions bennes

Probabilité des états du système pour chaque type de matériaux								
No	états	zirsill	mids1	HMC dry mill	HMC feed prep	bad rejets	Draining bay	tails
1	0002	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
2	0020	0,03	0,04	0,03	0,02	0,07	0,03	0,07
3	0200	0,22	0,22	0,14	0,11	0,38	0,11	0,38
4	2000	0,25	0,25	0,32	0,39	0,07	0,35	0,07
5	1100	0,23	0,23	0,22	0,21	0,16	0,2	0,16
6	0110	0,08	0,09	0,06	0,05	0,17	0,06	0,17
7	1001	0,06	0,05	0,07	0,07	0,03	0,08	0,03
8	0001	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
9	1010	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07	0,1	0,07
10	0101	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02

Après avoir appliqué les formules pour chaque type de matériaux transporté par les camions bennes, les résultats des calculs sont données dans le tableau suivant :

Tableau 21 : Résultats de calculs appliqués pour une flotte de deux camions bennes

Résultats des applications des formules de la méthode du réseau fermé de file d'attente sur deux camions bennes							
matériaux	zirsill	mids1	HMC dry mill	HMC feedprep	bad rejets	Draining bay	tails
η1	0,62	0,62	0,71	0,76	0,59	0,73	0,33
η3	0,22	0,23	0,20	0,18	0,24	0,21	0,33
Θ1	0,15	0,12	0,16	0,14	0,11	0,17	0,16
Θ3	0,14	0,12	0,16	0,14	0,11	0,17	0,15
Lq1	0,21	0,21	0,27	0,33	0,20	0,28	0,06
Lq3	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,06
Wq1 (mn)	1,44	1,74	1,68	2,28	1,80	1,64	0,36
Wq3(mn)	0,20	0,26	0,14	0,13	0,32	0,15	0,43
Tcy (mn)	15,37	17,86	13,03	14,30	20,42	11,64	14,40
T (mn)	107,60	71,46	52,11	85,77	142,93	81,51	331,28
P (t)	362,04	206,88	206,88	310,32	362,04	362,04	1189,56
Pu (t/mn)	3,36	2,90	3,97	3,62	2,53	4,44	3,59
C (Ar/t)	68,76	79,91	58,27	63,95	91,34	52,09	64,43

c. Détermination du coût unitaire de transport par une flotte de trois camions bennes

En utilisant la formule (1), avec $N=3$ et $M=4$, la flotte de 2 camions bennes a 20 états possibles.

Tableau 22 : Probabilité des états du système d'une flotte de trois camions bennes

Probabilité des états du système pour chaque type de matériaux								
No	états	zirsill	mids1	HMC dry mill	HMC feed prep	bad rejets	Draining bay	tails
1	3000	0,18	0,18	0,27	0,34	0,16	0,30	0,02
2	0300	0,15	0,15	0,08	0,05	0,18	0,06	0,35
3	0030	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03
4	0003	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	1200	0,16	0,16	0,12	0,10	0,17	0,10	0,14
6	0021	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	2100	0,17	0,17	0,18	0,19	0,16	0,17	0,06
9	1110	0,06	0,07	0,05	0,04	0,07	0,05	0,06
10	0111	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
11	1002	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
12	2001	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03	0,07	0,01
13	2010	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,09	0,03
14	1020	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03
15	0120	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,07
16	0210	0,06	0,06	0,03	0,02	0,07	0,03	0,15
17	0201	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
18	0102	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	1011	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
20	1101	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01

Tableau 23 : Résultat des calculs appliqués pour une flotte de trois camions bennes

Résultats des applications des formules de la méthode du réseau fermé de file d'attente sur deux camions bennes							
matériaux	zirsill	mids1	HMC dry mill	HMC feedprep	bad rejets	Draining bay	tails
η1	0,74	0,74	0,83	0,89	0,71	0,86	0,38
η3	0,26	0,27	0,24	0,21	0,28	0,24	0,39
Θ1	0,17	0,15	0,19	0,17	0,13	0,20	0,18
Θ3	0,17	0,14	0,19	0,16	0,13	0,20	0,18
Lq1	0,64	0,68	0,86	1,02	0,58	0,92	0,15
Lq3	0,07	0,07	0,06	0,04	0,08	0,06	0,16
Wq1 (mn)	3,69	4,65	4,58	6,16	4,38	4,57	0,81
Wq3(mn)	0,40	0,51	0,31	0,26	0,62	0,29	0,91
Tcy (mn)	17,82	21,04	16,10	18,29	23,30	14,72	15,34
T (mn)	124,74	84,16	64,39	109,76	163,12	103,06	352,81
P (t)	543,06	310,32	310,32	465,48	543,06	543,06	1784,34
Pu (t/mn)	4,35	3,69	4,82	4,24	3,33	5,27	5,06
C (Ar/t)	71,63	84,57	64,72	73,54	93,67	59,18	61,66

La probabilité des états du système d'une flotte de 3 camions bennes est déterminée pour chaque type de matériaux en utilisant la formule (2) ainsi que les valeurs du **tableau 17**.

IV.1.1.3 : Traçage de la courbe de coût de transport par rapport au nombre de camions.

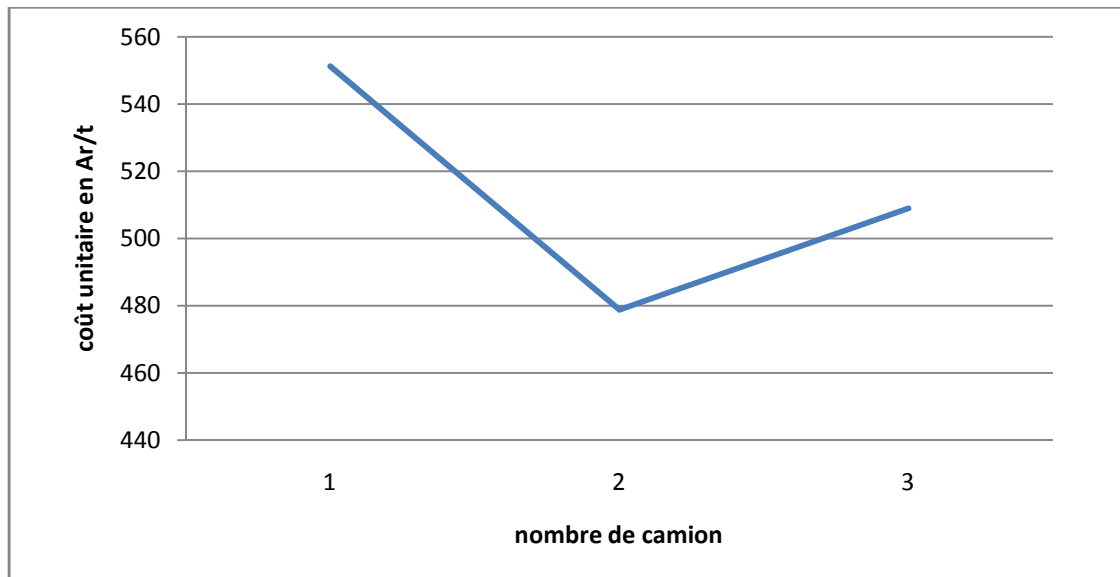
Le traçage de la courbe de coût de transport unitaire par rapport au nombre de camion permet de déduire directement le nombre optimal de camions bennes qui minimisera le coût de transport.

Tableau 24 : Coût total de transports pour le cas de 1,2 et 3 camions bennes

Matériaux	c ₁ (Ar/t)	c ₂ (Ar/t)	c ₃ (Ar/t)
zirsill	80,23	68,76	71,63
mids1	92,54	79,91	84,57
HMC dry mill	65,30	58,27	64,72
HMC FeedPrep	69,20	63,95	73,54
bad rejets	106,98	91,34	93,67
Draining bay	57,58	52,09	59,18
tails	79,39	64,43	61,66
coût total (Ar/t)	551,22	478,74	508,97

Le coût unitaire de transport en Ar/t de chaque type de matériaux trouvé par les calculs effectués précédemment (**Tableau 21, Tableau 23**) a permis de déduire le coût unitaire de transport total des matériaux (**tableau24**).

Ci-dessous le tracé de la courbe à partir de ces valeurs.



Graphe 6 : Courbe de coût unitaire par rapport au nombre de camions bennes

IV.1.2 : Solution optimale proposée

Pour rappel, 2 camions bennes sont actuellement mobilisés pour le transport.

Cependant, selon la courbe, le nombre de camion benne qui minimise le coût de transport est égal à 2 (**Graphe 6**).

En effet, cette méthode prend en considération à la fois le coût d'opération de la chargeuse ainsi que celui des camions bennes.

Selon le résultat de l'application de la théorie du réseau fermé de file d'attente, l'optimisation ne se fera pas au niveau du nombre de camion car il est déjà optimal dans l'objectif de minimiser le coût d'opération de transport.

Il reste à optimiser au niveau de l'organisation de la flotte de deux camions bennes.

Tableau25 : Tableau récapitulatif du nombre de camion benne optimale

Récapitulatif du nombre de camion benne optimal	
Nombre de camion	Coût unitaire de transport (Ar/t)
1	551,22
2	478,74
3	508,97

IV.2 : Minimisation du temps d'attente dû à la chargeuse

Elle consiste à proposer une organisation de transport entre les deux camions bennes qui minimisera le temps d'attente due à la chargeuse.

En effet, les camions bennes sont en attente de chargeuse lorsque celle-ci est contrainte d'effectuer d'autres tâches ordonnées par le contrôleur de l'usine de séparation.

Ces tâches sont principalement :

- l'alimentation de la trémie HO-7007 en minerai des baies de drainage zirsill.
- le chargement des trains routiers en produit fini d'ilménite provenant du hangar.

IV.2.1: Minimisation du temps d'attente des camions lorsque la chargeuse reçoit l'ordre d'alimenter la trémie HO-7007

La demande d'une chargeuse pour l'alimentation de la trémie HO-7007 est imprévisible car elle dépend de la situation à l'usine de séparation minérale (procédé, objectif,...).

La chargeuse est appelée à effectuer la tâche précédemment décrite ce qui conduit des fois à l'absence de la chargeuse et engendre un temps d'attente pour les camions en opération de chargement.

La recherche de solutions pour minimiser le temps d'attente des camions tiendra compte de la durée des autres tâches de la chargeuse par rapport à la durée de transport aller, du déchargement et du transport retour.

Les sites de chargement des camions bennes se trouvent dans les secteurs suivants :

- secteur dry mill
- secteur feed prep et wet zirsill
- tails
- draining bay

Les sites de déchargement se trouvent dans les secteurs suivants :

- st-5003 (HMC stockpiles)
- mine (décharges de sables résiduels)
- stockpiles mids1
- stockpiles zirsill

Le critère de prise de décision est le suivant :

$$k = \min\{Ta_i, 0\} \quad (14)$$

Avec

k: secteur favorable où le camion doit être affecté.

Ta_i (mn) : temps d'attente en fonction de l'état i où se trouvent les camions au moment où l'ordre est donné à la chargeuse d'effectuer une autre tâche.

Ce critère de prise de décision consiste à affecter les camions bennes dans un endroit qui leur permettra d'avoir le moins de temps d'attente possible de la chargeuse lorsqu'ils seront de retour pour le chargement.

Avec

$$Ta_i = T_{ch} - T_{c_i} \quad [mn] \quad (15)$$

Si **Ta_i ≤ 0**, cela signifie qu'il n'y a pas attente de la chargeuse

Si **Ta_i > 0**, cela signifie qu'il y a attente.

$$T_{ch} = t_1 + t_2 + t_3 \quad [mn] \quad (16)$$

Avec

T_{ch} : temps d'indisponibilité de la chargeuse

t₁ : durée du trajet de la chargeuse vers le HO-7007

t₂ : durée de l'alimentation du HO-7007

t₃ : durée du trajet retour de la chargeuse pour l'opération de chargement des camions.

Pour revenir au point de départ, la durée de trajet aller est égale à la durée de trajet retour de la chargeuse.

Les valeurs du **tableau 26** proviennent des mesures de chronométrage des trajets de la chargeuse.

Tableau 26 : Temps de trajet de la chargeuse à partir des différents secteurs vers les baies de drainage zirsill

Trajet chargeuse		durée (mn)
Origine	Destination	
secteur feed prep et wet zirsill	baies de drainage zirsill	0,63
secteur dry mill	baies de drainage zirsill	1,42
Tails	baies de drainage zirsill	3,02
Draining bay	baies de drainage zirsill	5,08

L'opération de l'alimentation de la trémie HO-7007 consiste à 1 à 2 cycles de chargeuses, soit environ 2,13 mn.

Tc_i est le temps que le camion donne à la chargeuse pour terminer sa tâche à chaque état i où il se trouve.

Tc_1 est le temps que donne le camion à la chargeuse dès la fin du chargement.

$$\boxed{Tc_1 = \text{durée de trajet aller} + \text{durée de déchargement} + \text{durée trajet retour}} \quad [\text{mn}] \quad (17)$$

Tc_2 est le temps que donne le camion à la chargeuse dès qu'il entre au site de déchargement.

$$\boxed{Tc_2 = \text{durée de déchargement} + \text{durée de trajet retour}} \quad [\text{mn}] \quad (18)$$

Tc_3 est le temps que donne le camion à la chargeuse dès qu'il quitte le site de déchargement.

$$\boxed{Tc_3 = \text{durée de trajet retour}} \quad [\text{mn}] \quad (19)$$

Tc_4 est le temps que donne le camion à la chargeuse dès qu'il arrive au point de chargement.

Si la chargeuse reçoit l'ordre à ce moment, les camions ne laisseront plus de temps à la chargeuse pour terminer sa tâche. C'est à dire que le temps d'attente de chargeuse commence là.

$$\boxed{Tc_4 = 0} \quad [\text{mn}] \quad (20)$$

Les résultats se trouvent dans le tableau de l'**annexe 2**.

IV.2.2 : Interprétation des résultats

Lorsque la chargeuse reçoit l'ordre d'alimenter la trémie HO-7007 au moment du départ du camion du point de chargement, aucun temps d'attente n'est engendré lors des transports précisés dans le tableau suivant :

Tableau 27 : Transports qui annulent le temps d'attente des camions en opération de chargement

Origine	Destination
Feed Prep et wet zirsill	st-5003
	Mine (sable résiduel)
Dry mill	Stockpiles mid1
	Stockpile zirsill
tails	Mine(sable résiduel)

Pour ces transports, le temps du trajet aller + temps de déchargement + temps de trajet retour sont suffisants à la chargeuse pour accomplir son autre tâche.

Lorsque la chargeuse reçoit l'ordre d'alimenter la trémie HO-7007 au moment où le camion arrive au point de déchargement, le camion donne suffisamment de temps à la chargeuse pour terminer sa tâche lors du transport précisé dans le tableau suivant :

Tableau 28 : Transport qui annule le temps d'attente des camions en opération de déchargement

Origine	Destination
Feed Prep et wet zirsill	Mine (sable résiduel)

Pour ce transport, le temps de déchargement + temps de trajet retour est suffisant à la chargeuse pour accomplir son autre tâche.

Lorsque la chargeuse reçoit l'ordre d'alimenter la trémie HO-7007 au moment où le camion quitte le lieu de déchargement, le camion donne suffisamment du temps à la chargeuse pour terminer son autre tâche lors du transport précisé dans le tableau suivant :

Tableau 29 : Transport qui annule le temps d'attente des camions de retour au point de chargement

Origine	Destination
Feed Prep et wet zirsill	Mine (sable résiduel)

Pour ce transport, le temps de trajet retour est suffisant pour la chargeuse pour accomplir son autre tâche.

Lorsque la chargeuse reçoit l'ordre d'alimenter la trémie HO-7007 au même moment où le camion arrive en point de chargement, le camion sera obligé d'attendre la fin de tâche de la chargeuse avant d'être chargé à son tour.

Dans ce cas, à chaque secteur, les durées d'attente sont :

Tableau 30 : Temps d'attente de chargeuse lorsque les camions sont arrivés en point de chargement

Secteur de chargement	Temps d'attente (mn)
Feed Prep et wet zirsill	4,56
Dry Mill	7,73
Draining bay	10,11
tails	11,21

IV.4.3: Solution optimale proposée

Lorsque la chargeuse reçoit l'ordre d'aller alimenter la trémie HO-7007 au moment où elle effectue une opération de chargement d'un camion, il est préférable que la chargeuse termine d'abord l'opération de chargement avant de partir pour s'acquitter de sa nouvelle tâche. Dans ce cas, le temps d'attente est nul. L'autre avantage est que la chargeuse aura le temps de terminer l'autre tâche avant qu'un camion ne soit de retour pour le chargement.

Cette option s'applique aux transports à l'intérieur du site.

Par ailleurs, lorsque la chargeuse reçoit l'ordre d'aller alimenter la trémie HO-7007 au moment où le camion entre dans le site de déchargement, il est préférable, après le déchargement de l'envoyer vers le secteur FeedPrep et wetzirsill pour une opération de chargement des matériaux se trouvant dans ce secteur.

Cependant, cette option ne doit s'appliquer que pour les transports à l'intérieur du site dont la durée du trajet à partir du site de déchargement jusqu'au secteur FeedPrep et wetzirsill est moins de 4mn, un temps suffisant pour la chargeuse d'effectuer l'alimentation de la trémie et de se préparer pour le chargement du camion.

En effet, la trémie HO- 7007 se trouve dans le secteur FeedPrep et wetzirsill. Et comme ce même secteur est celui de l'usine, la circulation est réglementée et donc moins dense par rapport aux autres pistes d'accès. Il est donc plus facile à la chargeuse de rejoindre les sites de chargement des camions. Par conséquent, cette option minimise le temps d'attente du camion.

IV.3: Minimisation du temps d'attente des camions lorsque la chargeuse est appelée à charger de l'ilménite provenant du hangar un train routier.

Le chargement d'un train routier consiste à charger de l'ilménite à l'intérieur de 3 remorques tels que :

1^{ère} remorque : 5 x cycle de chargeuse

2^{ème} remorque : 4 x cycle de chargeuse

3^{ème} remorque : 3 x cycle de chargeuse

La durée d'un cycle de chargeuse est 0,53 mn

Le chargement d'un train routier équivaut donc à 12 cycles de chargeuse, soit:

$$12 \times 0,53\text{mn}=6,36 \text{ mn}$$

Les formules définies précédemment sont utilisées pour déterminer ici le temps d'indisponibilité de la chargeuse

$$\boxed{T_{ch}=t_1+t_2+t_3} \quad [\text{mn}] \quad (21)$$

Avec,

T_{ch} : temps d'indisponibilité de la chargeuse

t_1 : durée du trajet de la chargeuse à partir du site de chargement vers le hangar d'ilménite

t_2 : durée de l'alimentation de chargement du train routier

t_3 : durée du trajet retour de la chargeuse vers le site de chargement des camions.

Dans le cas où les sites de chargement définis en t_1 et t_3 sont les mêmes, $t_1 = t_3$

Tableau 31 : Durée du trajet de la chargeuse des secteurs de chargement vers le hangar ilménite

Trajet chargeuse		Durée (mn)
Origine	Destination	
secteur feed prep et wet zirsill	hangar ilménite	3,2
secteur dry mill	hangar ilménite	1,1
tails	hangar ilménite	5,6
Draining bay	hangar ilménite	6,2

Les résultats se trouvent dans le tableau de l'annexe 2

IV.3.1: Interprétation des résultats

Lorsque la chargeuse reçoit l'ordre au même moment où elle est en opération de chargement,

Le temps de trajet aller + déchargement + trajet retour du camion est suffisant à la chargeuse pour accomplir son autre tâche sans engendrer du temps d'attente pour le camion lorsque celui-ci revient au site de chargement.

Les transports concernés par cette hypothèse sont précisés dans le tableau suivant :

Tableau 32 : Transports qui annulent le temps d'attente des camions de la chargeuse appelée en opération de chargement

Origine	Destination
Feed Prep et wet zirsill	Mine (sable résiduel)
Dry Mill	Stockpile mids1
	Stockpile zirsill

Les transports dont la destination est st-5003 et le transport de tails vers la mine ne donnent pas assez de temps à la chargeuse pour accomplir une autre tâche.

Les temps d'attente se produisent chaque fois que la chargeuse exécute l'ordre de charger un train routier reçu au moment où le camion entre dans le site de déchargement, ou en opération de déchargement, ou quitte le site de déchargement.

IV.3.2: Solution optimale proposée

Lorsque la chargeuse reçoit l'ordre d'aller alimenter un train routier en ilménite du hangar au moment où elle effectue une opération de chargement de camion, il est préférable que la chargeuse termine d'abord l'opération de chargement avant de partir pour s'acquitter de sa nouvelle tâche. Dans ce cas, le temps d'attente est nul. L'autre avantage est que la chargeuse

aura le temps de terminer l'autre tâche avant qu'un camion ne soit de retour pour le chargement.

Cette option ne s'applique que pour les transports cités dans le tableau 30

Pour les autres transports précisés dans le tableau ci-dessous, il est préférable à la chargeuse de terminer le chargement en cours du camion et d'opérer le chargement suivant au secteur Dry Mill.

En effet, la durée du trajet du hangar d'ilménite au secteur Dry Mill est minimale et permet à la chargeuse d'arriver à temps pour le chargement du camion.

Tableau 33: Trajet minimisant le temps d'attente de camions pour une chargeuse appelée après avoir terminé l'opération de chargement.

Origine	Destination
Feed Prep et wet zirsill	st-5003
Dry mill	
Drainingbay	
Tails	Mine (tails)

Lorsque la chargeuse reçoit l'ordre d'effectuer l'autre tâche au moment où le camion entre dans le site de déchargement, ou en opération de déchargement ou quitte le site de déchargement pour se rendre à l'opération de chargement suivante, il est préférable que les camions se rendent au secteur dry mill pour une opération de chargement des matériaux se trouvant dans ce secteur.

En effet, le secteur dry mill se trouve plus proche du hangar par rapport aux autres sites de chargement.

Cette option minimise le temps d'attente d'un camion pour la chargeuse.

Cela s'applique à tous les trajets de transport.

Lorsque la chargeuse reçoit l'ordre d'effectuer l'autre tâche au moment où le camion arrive pour une opération de chargement, il est préférable de donner l'ordre au camion de se rendre au secteur dry mill pour une opération de chargement des matériaux se trouvant dans ce secteur.

En effet, le temps d'attente au secteur dry mill est minimal.

Le tableau suivant représente le temps d'attente de la chargeuse à chaque secteur.

Tableau 34 : Temps d'attente de la chargeuse à chaque secteur

Secteur de chargement	Temps d'attente (mn)
Feed Prep et wet zirsill	12,76
Dry Mill	8,56
Drainingbay	18,76
tails	17,56

IV.4: Organisation dans le cas de fuites de rejets magnétiques radioactifs

Les solutions précédentes n'ont pas encore tenu compte des fuites imprévues des rejets magnétiques radioactifs : ces matériaux sont normalement conduits par deux pompes vers le bassin de décantation de la mine. Cependant, lorsqu'une des pompes est ensablée, il est alors nécessaire de récupérer de façon urgente ces matériaux par des camions.

La résolution d'un tel cas imprévu requiert l'engagement d'un camion pour récupérer immédiatement ces matériaux radioactifs.

- La récupération du rejet magnétique par un camion se fait pendant une durée allant de 10 mn à 2 heures.
- Le transport aller vers la mine dure en moyenne 18,63mn
- Le transport retour de la mine vers le secteur de récupération est en moyenne de 17,21mn

La durée d'un cycle de transport des rejets magnétiques par le camion varie de 45,84mn à 2 h35mn.

Cette durée varie en fonction de l'état de l'ensablement des pompes.

L'accomplissement d'un cycle de récupération des rejets magnétiques requiert :

- Dans le cas de la combinaison d'une chargeuse et d'1 camion, un arrêt du transport des autres matériaux pendant un minimum de 48,84 mn et un maximum de 2h35mn en un seul transport. Dans ce cas, comme la production continue, les matériaux s'accumulent, ce qui engendre pour le camion un surplus de travail et un retard dans l'exécution de sa tâche.
- Dans le cas de la combinaison d'une chargeuse et 2 camions, un seul camion reste pour assurer le transport des autres matériaux.

Pour assurer la présence rapide d'un camion sur le lieu de récupération du rejet magnétique, il est recommandé qu'un des camions travaille à l'intérieur même du site et que cette tâche lui revienne.

En effet, la chute de rejet magnétique se trouve à l'intérieur du site (au secteur dry mill). Ainsi, cette hypothèse permet d'avoir la disponibilité d'un camion à la chute de rejet magnétique en un minimum de temps. Le tableau suivant nous donne les lieux d'origine et ceux de destination du transport normal du camion à l'intérieur du site :

Tableau 35: Transport qui permet l'arrivée à la chute de rejet magnétique en un minimum de temps

Origine	Destination
Dry Mill	St-5003
	Stockpile zirsill
	Stockpile mids l
Feed Prep et wet zirsill	st5003
Draining Bay	St-5003

Pendant ce temps, l'autre camion s'occupera du transport des matériaux vers la mine dont les lieux d'origine et ceux de destination sont donnés par le tableau suivant :

Tableau 36 : Transport vers la mine

Origine	Destination
Tails	Mine
Feed Prep et wet zirsill	Mine

Cependant, un autre paramètre est à considérer: l'existence des différences des quantités de matériaux à transporter conjuguées à la distance des trajets selon les lieux de production. En effet, les quantités des matériaux à transporter et la distance vers la mine sont beaucoup plus importantes que celles de l'intérieur du site. Le tableau suivant nous donne la répartition des équipements de transport en fonction des quantités des matériaux et de la longueur des trajets.

Tableau 37: Répartition des équipements de transport en fonction des quantités des matériaux et de la distance des trajets

Equipement		Origine	Destination	Quantité de matériau (t)	Distance(m)
1 chargeuse	1 camion	Dry Mill	St-5003	103,44	700
			Stockpile zirsill	181,02	850
			Stockpile mids1	103,44	1000
		Feed Prep et wet zirsill	st-5003	155,16	600
		Draining bay	st5003	181,02	400
	1 camion	tails	mine	600	1130
		Feed Prep et wet zirsill	mine	181,02	2000

Cette solution nous conduit à :

-un camion travaillant dans le site effectuant environ 347,55 mn de transport effectif des matériaux soit 6 heures correspondant à environ 28 voyages.

-un camion travaillant pour le transport des matériaux vers la mine faisant environ 446,66mn de transport effectifs des matériaux soit 7,44 heures correspondant à environ 30 voyages.

On peut donc conclure que cette solution permet d'assurer le transport quotidien des matériaux pour un shift de 12 heures tout en assurant la récupération, pour des cas imprévus, de rejets magnétiques radioactifs.

Mais la décision de travailler à la fois le shift de jour et le shift de nuit permettra de mieux répartir le travail dans le temps.

Tableau 38: Répartition des travaux d'une chargeuse et de deux camions

Equipement		Quantité de matériau (t)	durée d'un cycle (mn)	durée total (mn)	nombre de cycle
1 chargeuse	1 camion	103,44	12,31	49,24	4
		181,02	13,71	95,97	7
		103,44	15,87	63,48	4
		155,16	11,64	69,84	6
		181,02	9,86	69,02	7
	1 camion	600	13,73	318,56	23
		181,02	18,3	128,10	7

L'inconvénient de cette combinaison des équipements et de la répartition de tâche entre les deux camions est que la chargeuse est obligée de faire des aller-retour entre les différents sites de chargement pour assurer l'opération de chargement des deux camions.

Cette option peut donc conduire à une augmentation des temps d'attentes pour les camions dus à la non disponibilité de la chargeuse.

Il faut donc trouver une solution qui assure à la fois le transport normal des matériaux sans engendrer de temps d'attente de la chargeuse et la récupération des fuites imprévues de rejets magnétiques radioactives le plus rapidement possible.

Une solution proposée est d'engager 2 chargeuses pour assurer l'opération de chargement des deux camions, à savoir celui qui s'occupe du transport des matériaux à l'intérieur du site et celui qui s'occupe du transport des matériaux vers la mine.

Le tableau suivant nous montre la répartition de deux chargeuses et de deux camions selon leur secteur de travail

Tableau 39: Répartition des équipements de transport selon leur secteur de travail

Equipements		Origine	Destination	Production (t)
1 chargeuse	1 camion	Dry Mill	St-5003	103,44
			Stockpile zirsill	181,02
			mixte	103,44
		Feed Prep et wet zirsill	St-5003	155,16
1 chargeuse	1 camion	Draining bay	St-5003	181,02
		tails	mine	600
		Feed Prep et wet zirsill	mine	181,02

L'inconvénient de cette solution est que la chargeuse qui s'occupe du chargement du camion qui transporte les matériaux vers la mine sera inutilisée pendant le shift nuit.

En effet, le transport des matériaux pendant le shift nuit vers la mine est dangereuse donc non recommandé, par contre le transport à l'intérieur du site pendant le shift nuit ne pose aucun problème.

➤ **Solution optimale proposée**

Pour assurer à la fois la disponibilité d'un camion pour la récupération du rejet magnétique, et l'accomplissement des tâches normales et quotidiennes des camions bennes, les deux solutions proposées précédemment vont être analysées.

- Examinons le cas d'engager 2 chargeuses et 2 camions.

Comme le camion assurant transport de matériaux vers la mine (tails, bad rejets) ne travaille pas la nuit, la chargeuse correspondante est inutilisée pendant le shift nuit,

Le coût fixe d'une chargeuse est de **9 852 628,86 Ar /mois** et elle peut être utilisée 24h sur 24 h.

Un chargement de tails prend 2,07mn.

En moyenne 23 chargements sont effectués par jour

Durée de chargement tails en un jour=47,61mn

Durée de chargement de bad rejets=5,34mn

En moyenne 6 chargements de bad rejets sont faits par jour

Durée de chargement bad rejets en un jour : 32,04mn

En une journée, le travail effectif de cette chargeuse sera en moyenne: 1,33 heure

En 1 mois, la durée de travail effectif moyenne de cette chargeuse sera de 41,15 heures

Le coût fixe suppose une utilisation à 100% de la chargeuse en un mois.

41,15 heures de travail effectif de chargement en un mois signifient une utilisation de 5,5% de la chargeuse.

Ce qui implique 94,5% du coût fixe non utilisé équivalant à **9 310 734,27 Ar**.

- Examinons le cas d'engager seulement 1 chargeuse et 2 camions.

Dans ce cas, un temps d'attente de chargement sera engendré dû au chargement alternatif des 2 camions se trouvant à des secteurs différents :

Le temps d'attente d'un camion sera :

$\text{Temps d'attente} = \text{temps de chargement de camion} + \text{temps de rejointe du camion en attente}$ <p>[mn] (19)</p>
--

Cependant, le temps d'attente ne se produit que lorsque les deux camions arrivent en même temps à la source de matériau pour le chargement.

En supposant un transport en 24 heures, le temps d'attente de chargement est donné dans

Les tableaux ci-dessous :

Tableau 40 : Temps d'attente moyen de camion dû à l'alternance de chargement de camion se trouvant à des secteurs éloignés

Nombre d'alternation	Origine	Destination	Temps d'attente (mn)	Attente total (mn)
4	Dry mill (HMC)	tails	8,36	33,44
4	Dry mill (mids1)		8,65	34,6
7	Dry mill(zirsill)		8,18	57,26
4	FeedPrep (HMC)		8,07	32,28
7	Draining Bay		5,33	37,31
4	Dry mill(HMC)	FeedPrep	7,34	29,36
4	Dry mill(mids1)		7,93	31,72
6	Dry mill(zirsill)		7,16	42,96
4	FeedPrep (HMC)		5,34	21,36
6	DrainingBay		4,98	29,88
total				350,17

Tableau 41: Temps d'attente moyen de camion dû à l'alternance de chargement de camion se trouvant à des secteurs éloignés

Nombre d'alternation	Origine	Destination	Temps d'attente (mn)	Attente total
4	tails	Dry mill (HMC)	5,99	23,96
4		Dry mill (mids1)	5,99	23,96
7		Dry mill(zirsill)	5,99	41,93
4		FeedPrep(HMC)	4,8	19,2
7		DrainingBay	3,15	22,05
4	FeedPrep	Dry mill(HMC)	6,07	24,28
4		Dry mill (mids1)	6,07	24,28
6		Dry mill(zirsill)	6,07	36,42
4		FeedPrep(HMC)	5,34	21,36
6		DrainingBay	8,07	48,42
total				285,86

La durée maximale d'aller-retour de la chargeuse que nécessite l'alternance de chargement de camion est environ 5,30 heures/jour soit 164 heures par mois ce qui vaut **17 897 886,90 Ar**.

En comparant le coût qu'engendre la sous-utilisation d'une seconde chargeuse engagée pour servir les camions : **9 310 734,27Ar/mois** et le coût qu'engendre l'aller-retour d'une chargeuse pour servir les 2 camions alternativement **17 897 886,90 Ar/mois**.

La solution la plus économique, qui assure à la fois le transport de tous les matériaux ainsi que la présence en temps et en heure d'un camion pour récupérer le rejet magnétique est la combinaison **2 chargeuses pour 2 camions**.

En effet, cette solution permet d'économiser environ **8 587 152,63 Ar/mois**, soit un gain d'environ **50%** par rapport à l'autre option.

Cependant, les fuites des rejets magnétiques ne se présentent qu'à 1,2% du temps, selon les données du mois de Juillet 2012.

IV.5: Proposition de feuilles de routes pour les conducteurs

Le remplissage des feuilles de route à chaque début et fin de tâche par les conducteurs des camions et opérateurs de chargeuse engendre un temps d'attente supplémentaire.

Le remplissage d'une feuille de route varie de 1 mn à 3 mn selon le conducteur ou opérateur.

En supposant que chaque conducteur de camion ou opérateur de chargeuse met 2 mn pour remplir leur feuille de route, la durée totale pendant deux shift de 12 heures est donnée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 42 : Durée moyenne de remplissage de feuille de route par les opérateurs et conducteurs pendant le quart de travail des camions benne.

Nombre d'affectation	Affectation		Durée d'inscription feuille de route (mn)	
	Origine	Destination	Chargeuse	Camion
2	Dry Mill	St-5003	6	6
2		Stockpile mids1	6	6
2		Stockpile zirsill	6	6
2	FeedPrep	St-5003	6	6
2		mine	6	6
2	Draining bay	st-5003	6	6
2	tails	mine	6	6
Total			42	42

En un mois, la durée moyenne de remplissage de feuille de route par les conducteurs de camion est de 21,7 h, ce qui coûte **2 710 629,10 Ar**.

En un mois, la durée moyenne de remplissage de feuille de route par les opérateurs de chargeuse qui chargent les camions est en moyenne 21,7 heures, ce qui coûte **2 368 196,01 Ar**.

Dans l'objectif de minimiser le temps de remplissage des feuilles de routes et de camions donc de réduire le coût, une feuille de route plus pratique est proposée.

De plus, Il vaut mieux que l'opérateur de chargeuse choisisse de remplir sa feuille de route pendant le trajet aller ou retour des camions évitant ainsi toute attente de chargement dû au remplissage de feuille de route avant chaque début de chargement.

IV.5.1: Feuille de route chargeuse

La feuille de route se trouve dans l'**annexe 3**.

IV.5.2 : Feuille de route camion bennes

La feuille de route se trouve dans l'**annexe 4**.

IV.6 : Optimisation de production de chargeuse

Le sable est le type de matériaux manipulé par les chargeuses.

Ce matériau meuble est difficile à manipuler, ce qui entraîne des cycles de chargeuses répétitifs surtout lors des chargements des matériaux tassé en faible quantité.

Deux types de godets sont pourtant utilisés par les chargeuses : celui à dents (**figure25**) et celui à lame lisse (**figure26**).

Il est important de noter que :

- Les lames à dents sont destinées aux travaux d'arrachage en carrière et en mine à ciel ouvert.
- Les lames lisses sont destinées à la manutention des matériaux meubles tels que dans notre cas.

Les lames des godets doivent donc toutes être remplacées par les lames lisses pour augmenter la production des chargeuses.

Chapitre V: PROPOSITION D'OPTIMISATION DU TRANSPORT POUR LE FUTUR

Dans ce chapitre, nous allons déterminer le nombre optimal de camions qui assurera le transport des matériaux à l'intérieur du site ainsi que l'acheminement des produits finis d'ilménite vers le port d'Ehoala lorsque l'objectif fixé de 750 000 t/a sera atteint.

V.1: Détermination du nombre optimal de camion benne par la théorie du réseau fermé de file d'attente

Les démarches à suivre sont celles vues précédemment cependant les proportions des quantités de matériaux produites qui seront transportées par les camions bennes seront différentes.

Le tableau ci-dessous montre les quantités des produits à transporter quotidiennement par les camions bennes :

Tableau 43 : Estimation de production correspondant à l'objectif de 750 000 t/an

Estimation de la production des matériaux		
Matériaux	Productions correspondantes (t/j)	Nombre de voyage nécessaire
HMC dry mill	133,07	5
mids1	133,07	5
zirsill	232,87	9
HMC feedprep	199,61	8
bad rejets	232,87	9
tails	771,87	30
Draining bay	232,87	9

La théorie du réseau fermé de file d'attente donne le même résultat car, cette méthode ne prend pas en considération les quantités de matériaux à déplacer.

Elle prend surtout en compte les temps de cycles des camions.

La solution optimale reste toujours 2 camions bennes.

Sauf que dans ce cas, les deux camions devront remplir 24 heures de travail par jour pour assurer le transport des quantités de matériaux.

V.2: Optimisation du transport de produit fini d'ilménite

V.2.1: Détermination du nombre optimal de train routier par le réseau fermé de file d'attente

Cela consiste à trouver le nombre optimal de train routier qui assurera le transport de produit fini acheminé vers le port d'Ehoala qui se trouve à 15 km du site de Mandena lorsque l'objectif de production de 750 000 t/a d'ilménite sera atteint.

Le transport est programmé pour une durée de 10h par jour.

Les silos ont un débit de 111t/h.

La production journalière sera d'environ 2016 tonnes/ jour.

Pour le transport des produits finis, les coûts variables sont donnés en coût / tonne (**tableau 15**).

V.2.1.1: Cas pour la mobilisation de 3 trains routiers

- **taux de chargement**

Nous allons considérer comme chargement toutes les étapes effectuées par le train routier avant son départ vers le port d'Ehoala qui sont : le chargement, fermeture des remorques, pesage au pont bascule.

Ces étapes prennent en moyenne 8,63 mn par train routier.

$$\mu_1 = 1/8.63 = 0,12$$

$$\mu_1 = 0,12$$

- **taux de trajet aller**

Le transport aller prend environ 26,63mn par train routier

$$\mu_2 = 1/26.8 = 0,04$$

$$\mu_2 = 0,04$$

- **taux de déchargement**

Le déchargement prend environ 4,93 mn par train routier.

$$\mu_3 = 1/4,93$$

$$\mu_3 = 0,20$$

- **taux de trajet retour**

Le transport retour prend environ 24,52 mn par train routier.

$$\mu_4 = 1/24,52$$

$$\mu_4 = 0,04$$

Tableau 44 : Taux de chargement, trajet aller, déchargement, trajet retour

Taux de chargement, trajet aller, déchargement, trajet retour					
Source	Destination	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
site de Mandena	Port d'Ehoala	0,12	0,04	0,20	0,04

- **détermination des états probables de 3 trains routiers**

Pour 3 trains routiers,

Le nombre d'états probables est déterminé par la formule (1)

Avec $N=3$

Et $M=4$

N : nombre de train routier

M : nombre de phase

Une flotte de 3 trains routiers a 20 états probables.

Les probabilités des états d'une flotte de 3 trains routiers est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 45 : Probabilités des états d'une flotte de 3 trains routiers

Probabilités des états du système			
No	Etat du système	Coefficient	Probabilité
1	3000	1	0,019
2	0300	30,03	0,56
3	0030	0,18	0,00
4	0003	0,00	0,00
5	1200	9,66	0,18
6	0021	0,00	0,00
7	0012	0,00	0,00
8	2100	3,11	0,06
9	1110	1,77	0,03
10	0111	0,00	0,00
11	1002	0,01	0,00
12	2001	0,12	0,00
13	2010	0,57	0,01
14	1020	0,32	0,01
15	0102	1,01	0,02
16	0210	5,50	0,10
17	0201	0,00	0,00
18	0102	0,00	0,00
19	1011	0	0,00
20	1101	0,02	0,00
Total		53,30	1

L'occupation en chargement est déterminée par (5):

$$\eta_1=0,31$$

L'occupation en déchargement est déterminée par (6) :

$$\eta_3=0,18$$

Le nombre de camion moyen servi en chargement est déterminé par (7)

$$\Theta_1=0,04$$

Le nombre de camion moyen servi en déchargement est déterminé par (7)

$$\Theta_3=0,04$$

Le nombre moyen de camion en file d'attente de chargement est déterminée par (8) :

$$L_{q1}=0,11$$

Le nombre moyen de camion en file d'attente de déchargement est déterminée par (8)

$$L_{q3}= 0,03$$

Le temps moyen de file d'attente en chargement est déterminé par (9):

$$W_{q1}=3,02 \text{ mn}$$

Le temps moyen de file d'attente en déchargement est déterminé par (10) :

$$W_{q3}=0,90 \text{ mn}$$

Temps de cycle total d'un camion est déterminé par (11):

$$T_{cy}=69,59\text{mn}$$

Le tonnage que peut transporter par les flottes de train routier par jour est déterminé par (12) : $P=2327,92 \text{ t}$

Le rendement d'une flotte de 3 trains routiers en un cycle est 269,99 t/cycle.

Le nombre de cycle nécessaire pour transporter 2016 tonnes est déterminé par:

$$N = \frac{\text{tonnage à transporter}}{\text{production de la flotte /cycle}}$$

$$N=7$$

Le nombre de cycle nécessaire pour transporter 2016 tonnes est 7 cycles par train routier.

Les 7 cycles seront faits en une durée de 8,12 heures.

Les opérations qui ont conduit à ces résultats se trouvent à l'annexe 5.

V.2.1.2: Cas pour 2 trains routiers disponibles

Dans le cas de 2 trains routiers disponibles, il y aura 10 états du système.

Les probabilités des états du système sont données dans le tableau ci-dessous

Tableau 46 : Probabilité des états d'une flotte de 2 trains routiers

Probabilité des états du système			
No	Etat du système	Coefficient	Probabilité
1	0002	0,01	0,00
2	0020	0,32	0,02
3	0200	9,66	0,58
4	2000	1,00	0,06
5	1100	3,11	0,19
6	0110	1,77	0,11
7	1001	0,12	0,01
8	0011	0,01	0,00
9	1010	0,57	0,03
10	0101	0,02	0,00

L'occupation en chargement est :

$$\eta_1=0,29$$

L'occupation en déchargement est :

$$\eta_3=0,16$$

Le rendement en chargement est :

$$\Theta_1=0,03$$

Le rendement en déchargement est :

$$\Theta_3=0,03$$

Le nombre moyen de camion en file d'attente de chargement est :

$$Lq_1=0,06$$

Le nombre de camion en file d'attente de déchargement est :

$$Lq_3=0,02$$

Le temps d'attente en chargement est :

$$W_{q1}=1,80 \text{ mn}$$

Le temps d'attente en déchargement est :

$$W_{q3}=0,60 \text{ mn}$$

Le temps de cycle total est :

$$T_{cy}=68,07\text{mn}$$

Le tonnage transporté est:

$$P=1586,60 \text{ t}$$

Le rendement d'une flotte de 2 trains routiers en un cycle est 179 t/cycle.

Le nombre de cycle nécessaire pour transporter 2016 test 11.

11 cycles nécessitent 12,48 heures aux trains routiers.

Une durée qui dépasse le temps fixé de 10 heures/jour.

V.2.1.3 : Cas pour 4 trains routiers mobilisés

Dans ce cas, il y aura 35 états possibles du système :

Tableau 47 : Probabilités des états d'une flotte de 4 trains routiers

probabilité des états du système			
No	états possibles	coefficients	probabilité
1	0 0 0 4	0,00	0,00
2	0 0 1 3	0,00	0,00
3	0 1 0 3	0,00	0,00
4	1 0 0 3	0,00	0,00
5	0 0 2 2	0,00	0,00
6	0 1 1 2	0,00	0,00
7	1 0 1 2	0,00	0,00
8	0 2 0 2	0,00	0,00
9	1 1 0 2	0,00	0,00
10	2 0 0 2	0,01	0,00
11	0 0 3 1	0,00	0,00
12	0 1 2 1	0,00	0,00
13	1 0 2 1	0,13	0,00
14	0 2 1 1	0,00	0,00
15	1 1 1 1	0,00	0,00
16	2 0 1 1	0,01	0,00
17	0 3 0 1	0,00	0,00
18	1 2 0 1	0,00	0,00
19	2 1 0 1	0,02	0,00
20	3 0 0 1	0,12	0,00
21	0 0 4 0	0,11	0,00
22	0 1 3 0	0,57	0,00
23	1 0 3 0	0,18	0,00
24	0 2 2 0	3,13	0,02
25	1 1 2 0	1,01	0,01
26	2 0 2 0	0,32	0,00
27	0 3 1 0	17,09	0,10
28	1 2 1 0	5,50	0,03
29	2 1 1 0	1,77	0,01
30	3 0 1 0	0,57	0,00
31	0 4 0 0	93,32	0,56
32	1 3 0 0	30,03	0,18
33	2 2 0 0	9,66	0,06
34	3 1 0 0	3,11	0,02
35	4 0 0 0	1,00	0,01

L'occupation en chargement est

$$\eta_1=0,32$$

L'occupation en déchargement est :

$$\eta_3=0,18$$

Le rendement en chargement est :

$$\Theta_1=0,04$$

Le rendement en déchargement est :

$$\Theta_3=0,04$$

Le nombre moyen de camion en file d'attente de chargement est :

$$L_{q1}=0,13$$

Le nombre moyen de camion en file d'attente de déchargement est :

$$L_{q3}=0,04$$

Le temps d'attente en chargement est :

$$W_{q1}=3,61mn$$

Le temps d'attente en déchargement est :

$$W_{q3}=1,04mn$$

Le temps de cycle total est :

$$T_{cy}=70,33mn$$

Le rendement d'une flotte de 4 trains routiers est:

$$P=2958,90 \text{ t/jour}$$

Le rendement d'une flotte de 4 trains routiers est 346,83 t/ cycle.

Le nombre de cycle nécessaire pour transporter 2016 tonnes sera de 6 cycles par trains routiers.

7 heures seront nécessaires à la flotte de train routier pour transporter 2016 tonnes.

V.2.2: Solution optimale proposée

Le tableau suivant montre le résultat récapitulé de recherches faites précédemment :

Tableau 48 : Tableau récapitulatif des solutions du réseau fermé de file d'attente

Nombre de train routier	Rendement (t/cycle)	Objectif journalier (t)	Heure nécessaire	Cycle nécessaire
2	180	2016	12,4795	11
3	270	2016	8,12	7
4	346,83	2016	7	6

Selon le résultat, une flotte de 3 trains routiers peut assurer le transport d'ilménite vers le port d'Ehoala dans l'objectif de transporter 2016 tonnes/jour en faisant 7 cycles en 8,12 heures par jour.

Cependant dès que l'un de ces 3 trains routiers est indisponible, les 2 autres ne pourront plus assurer le transport des 2016 tonnes.

La mobilisation d'un 4^{ème} train routier assurera le transport d'une production de 2016 tonnes en faisant 6 cycles en 7 heures par jour.

En plus, si l'un des 4 trains routiers est en panne, les 3 autres restants pourront toujours assurer le transport des 2016 tonnes.

Chapitre VI: OPTIMISATION DE L'HYGIÈNE, SANTÉ, ENVIRONNEMENT ET SECURITÉ DES CONDUCTEURS

IV.1 : Optimisation de la sécurité des conducteurs

IV.1.1: Etat des pistes d'accès

Le mauvais état des pistes d'accès engendre du retard au niveau du transport,

Les camions bennes qui assurent le transport vers la mine sont des fois obligés d'interrompre leurs activités pour permettre d'effectuer l'entretien sommaire des pistes, ce qui entraîne plus de temps d'inutilisation de ces camions.

En effet, le temps d'interruption des activités dû à un état impossible de l'état des pistes d'accès vers la mine à partir de la statistique du mois de Juillet 2012 est de 7,2 heures.

Par rapport au coût fixe, cette inactivité vaut **183 705,27Ar/mois**.

En outre, cette situation augmente le risque d'accident et la probabilité des pannes des camions bennes.

90 % des pistes d'accès pour le transport des matériaux à l'intérieur du site faufilent entre les stockpiles de sables.

Ces pistes sont à la fois étroites et glissantes surtout celle qui mène au stockpile HMC.

VI.1.2: Solution optimale proposée

Pour éviter les risques d'accident et les pertes de temps ainsi que pour réduire le temps d'inoccupation des camions bennes.

Nous proposons 3 solutions:

- programmer une réparation durable et une maintenance régulière des pistes d'accès des camions bennes tant à l'intérieur du site que vers la mine.
- aménager les pistes d'accès ayant une largeur suffisante qui permettront aux camions de s'y croiser. En effet, les pistes d'accès devront avoir normalement une largeur égale au nombre de camions qui sont obligés d'y circuler simultanément.
- envisager de remplacer les camions bennes par des camions bennes minier adaptés aux conditions du terrain.

VI.2: Optimisation sur la santé des conducteurs

Cela consiste à trouver des solutions qui minimisent les risques et dangers physiques ainsi que la fatigue des conducteurs.

VI.2.1: Les principaux risques et dangers physiques

- l'exposition aux vibrations et la position assise prolongée.
- L'exposition au bruit lors des opérations de chargement et déchargement, et pendant la conduite (moteurs, pneus, ventilateur, etc.);
- L'exposition à la poussière lors du chargement, et du déchargement
- les conditions climatiques (chaleur, froid, sécheresse, pluie, etc.);
- les possibilités limitées d'améliorer l'ergonomie de l'environnement de travail et d'adopter un mode de vie sain.
- La fatigue.

VI.2.2: Les conducteurs de trains routiers

VI.2.2.1: Minimisation des risques liés à la position assise prolongée et vibrations

Les conducteurs de trains routiers font 7 à 8 aller-retour sur la même route pendant 10 heures.

La position assise prolongée et les vibrations exposent les conducteurs à des risques tels que :

- TMS (trouble musculo-squelettiques) affectant principalement le cou, les épaules et le dos
- maladies cardio-vasculaires ou digestives.

Lors des conduites de trains routiers, les vibrations se font surtout sentir lors du transport chargé.

Pour diminuer les risques liés aux vibrations, il faut veiller au bon état du matériel et au gonflage des pneus. Il faut également choisir des sièges anti-vibrations en fonction de la fréquence de vibration à laquelle les conducteurs sont soumis et qui doivent répondre à des critères ergonomiques.

Il faut que le siège soit ajustable en fonction de la taille, du poids et du confort du conducteur et ait un appui lombaire.

Il est également nécessaire d'effectuer les réglages inhérents au poste de conduite (hauteur, inclinaison volant, réglage avant/ arrière du siège, inclinaison du dossier...) si cela est possible pour l'amélioration de l'ergonomie du poste de conduite.

L'accessibilité du poste de conduite doit également être la plus aisée possible.

VI.2.2.2: Minimisation des risques liés à la fatigue et au stress.

En plus d'un horaire de travail long de 10 heures, les conducteurs de trains routiers sont confrontés à des pressions grandissantes, par exemple effectuer des livraisons plus rapides.

De plus ils doivent rester vigilants pour maintenir la vitesse limite de 50km/heure et respecter les panneaux stop rencontrés pendant tout le trajet.

La tâche est répétitive et monotone mais exige quand même une grande concentration.

Elle engendre une faible marge décisionnelle et un faible soutien social (isolement, peu de contacts avec les collègues);

Pour cela, un temps de pauses suffisant et régulier doit être respecté, des systèmes de rotation de postes aussi devront être envisagés toutes les demi-journées pour lutter contre la monotonie.

VI.2.3: Les conducteurs de camions bennes.

VI.2.3.1: Minimisation des risques liés à la position assise prolongée et vibrations

Les conducteurs de camions bennes sont surtout confrontés à des vibrations liés aux mauvais états des pistes d'accès que ça soit à l'intérieur du site que vers la mine.

A part le choix de siège ajustable et confortable, la solution principale est de maintenir les pistes d'accès en bon état ou d'envisager de remplacer les camions bennes par des engins plus adaptés aux conditions du terrain.

Les secousses produites lors des chargements qui sont le lot quotidien des conducteurs doivent être réduites par la répartition des charges à l'intérieur de la benne par l'opérateur chargeuse.

Proposition de chargement

Le mode de chargement de la **figure 29** permet de répartir favorablement le volume utile de la benne.

Le matériau doit être chargé en plusieurs tas répartis dans la benne du camion pour accroître la capacité en volume de la benne et permettre un tonnage de transport plus optimale.

À la figure 1, les tas 1 et 2 sont placés aux extrémités de la benne du camion.

Un chargement en une seule opération n'est pas recommandé (**figure 30**).

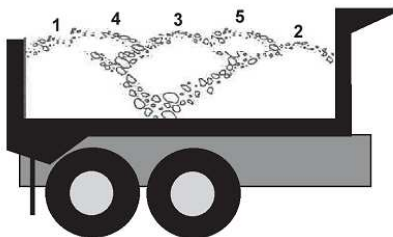


Figure 29: Chargement recommandé

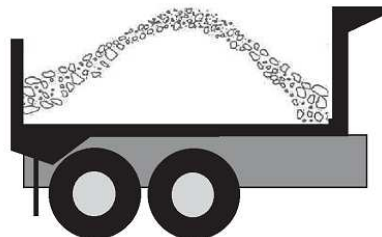


Figure 30 : Chargement non recommandé

VI.2.3.2: Minimisation des risques liés à la fatigue et au stress.

Pour les conducteurs de camions bennes, le stress est surtout lié aux risques d'accidents dû aux mauvais états des pistes d'accès.

Une autre origine du stress est que les conducteurs doivent eux-mêmes identifier les types de matériaux qu'ils transportent et les sites de déchargement.

Les conducteurs ne sont pas autorisés à se tromper dans l'identification des matériaux ainsi que de leur site de déchargement correspondant.

Une solution est de faire une mise à jour régulière des types de matériaux et de leur site de déchargement aidant ainsi les conducteurs à identifier le type de matériaux qu'ils transportent et vers où ils doivent les transporter.

Cela est nécessaire surtout lors des rotations de postes entre les conducteurs et opérateur de chargeuse.

Les systèmes de rotation de postes et le respect de temps de pauses suffisants et réguliers sont aussi importants pour lutter contre les risques liés à la fatigue et le stress.

VI.2.3.3: Minimisation des risques liés à l'exposition aux poussières

L'émission de poussières se produit surtout pendant les périodes de vent et lors de chargement de matériaux secs.

Le risque lié à l'exposition des poussières est surtout la maladie pulmonaire.

La fermeture de cabine ou bien le port de masque respiratoire lorsque la condition avec la cabine fermée n'est pas convenable est le moyen de limiter ce risque.

VI.2.4: Les opérateurs chargeuses

Les mouvements répétitifs d'un cycle de chargeuse qui consiste à :

- l'attaque de l'emprunt
- chargement du godet
- recul et élévation du godet
- avancement vers la benne de camion ou vers une trémie d'alimentation
- déchargement du godet
- recul et avancement du godet

se font sur des terrains instables augmentant les risques liés à la vibration.

Pour les opérateurs des chargeuses dont la fonction est d'alimenter les trémies d'alimentation HO-5015 et HO-6001, occupant un poste de 12 heures, ils doivent maintenir un rythme régulier de chargement à de petites intervalles de temps selon la demande d'alimentation par le contrôleur de l'usine.

Une alimentation de 130 à 140 t/h consiste à charger la trémie d'alimentation HO-5015 de 6 à 8 godets de minerai toutes les 30 minutes.

Une alimentation de 170t/h consiste à charger la trémie d'alimentation de HO-5015 de 6 à 5 godets de minerai toutes les 15 à 20minutes.

De plus, le terrain meuble où se trouve le secteur de travail des chargeuses favorise le plus les risques de vibration.

VI.2.4.1: Minimisation des risques liés à la position assise prolongée et vibrations

Les risques liés aux travaux des opérateurs des chargeuses sont les TMS affectant principalement le cou, les épaules et le dos et la fatigue due à la monotonie du travail.

Une solution pour minimiser ces risques est d'ajuster le siège et la cabine au confort de l'opérateur.

Une solution pratique pour minimiser les vibrations dues à l'instabilité du terrain est de niveler d'abord le sol à l'aide du godet de la chargeuse avant le commencement du shift de travail.

VI.2.4.2: Minimisation des risques liés à la fatigue et au stress.

A part les mouvements répétitifs de l'anatomie entière qu'exige l'opération de chargement, la concentration et vigilance est exigée pendant au minimum 10 heures de travail effectif.

Un système de rotation de poste entre les conducteurs et opérateurs des chargeuses aide à lutter contre la fatigue et le stress et il en est de même des temps de pauses suffisants et réguliers qui doivent être respectés.

VI.2.4.3 : Minimisation des risques liés à l'exposition aux poussières.

Afin de minimiser les risques liés à l'exposition aux poussières la fermeture des cabines ou le port de masque respiratoire adapté est une solution.

VI.3: Conclusion

Après avoir appliqué la théorie du réseau de file d'attente afin de déterminer le nombre de camion bennes optimales, on peut dire que deux camions bennes suffisent et minimisent le coût du transport des matériaux intermédiaires même lorsque la production d'ilménite atteindra 750 000 Tonne/an.

Pour le transport de produits finis d'ilménite, un train routier de plus sera nécessaire pour assurer le transport vers le port d'Ehoala lorsque cette production sera atteinte.

Cependant les observations faites sur terrain portent à considérer plusieurs paramètres qui entrent dans le coût du transport (temps d'attente, temps d'inactivité,).

L'environnement de travail est pris en compte et une amélioration des conditions des travailleurs est proposée afin de diminuer les risques liés à la santé, sécurité, environnement

CONCLUSION

L'objectif que s'est fixé le présent travail est l'optimisation du transport des matériaux et produits chez Rio Tinto QMM.

Une optimisation du transport consiste surtout à déterminer le nombre optimal de camion qui fait diminuer le coût des opérations de transport pour, ainsi, favoriser la rentabilité du transport pour la société Rio Tinto QMM sans pour autant négliger l'amélioration des conditions des travailleurs.

Pour cela une méthode appelée : *la théorie du réseau fermé de file d'attente* a été employée.

Elle permet de faire ressortir la correspondance entre coût de transport et nombre de camion.

En appliquant à cette méthode les valeurs obtenues lors des mesures de chronométrage, le nombre de camions bennes optimal obtenu est de 2 même lorsque la production atteindra 750 000 t/an.

Un camion benne correspond à un coût unitaire de transport élevé de **551,22Ar/t**, 3 camions bennes correspondent à **508,97Ar/t**, et enfin 2 camions bennes correspondent au coût le plus bas **478,74Ar/t**.

Puisque le nombre de camion correspond déjà au nombre existant actuellement, l'optimisation du transport des matériaux intermédiaires s'est concentrée sur la gestion de la flotte de deux camions bennes.

Cela consiste à minimiser le temps d'attente des camions bennes. Le temps d'attente dû à une chargeuse constitue le plus important temps d'attente valant **743 261,85 Ar** selon la facture du mois de Juillet 2012.

Une organisation entre les conducteurs de camions bennes et les opérateurs des chargeuses a été proposée afin de diminuer le temps d'attente dû à une chargeuse pour ainsi diminuer ce coût élevé.

Les fuites imprévues de rejets magnétiques limitent la disponibilité des camions bennes pour le transport. La solution la plus économique est d'affecter les camions bennes dans deux secteurs différents et de mobiliser deux chargeuses pour assurer leur chargement et permettre la récupération des rejets magnétiques et le transport normal des autres matériaux.

En effet, cette solution permet d'économiser environ **8 587 152,63 Ar/mois**, soit un gain d'environ **50%** par rapport à l'option de charger alternativement les deux camions à l'aide d'une seule chargeuse.

Des feuilles de routes plus pratiques pour les conducteurs et opérateurs sont aussi proposées afin de diminuer le temps perdu lors de l'opération de remplissage de ces feuilles.

L'application de la méthode de recherche de nombre optimal de camion sur les trains routiers lorsque l'objectif de production sera atteinte, a permis d'obtenir un nombre de 4 trains routiers qui assureront le transport du produit fini d'ilménite.

Dans le domaine HSE, le plus important est le respect de l'application des heures de pauses régulières et suffisantes pour les conducteurs de camions ainsi que pour les opérateurs des chargeuses.

L'optimisation du transport dans une grande société minière, si elle est informatisée, permettra de déterminer le nombre optimal de camion à affecter à une chargeuse ou à une pelle en temps réel en considérant tous les paramètres affectant le transport.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Rio Tinto Iron&Titanium Inc. Madagascar.

Description technique du projet QMM - Secteur MSP

QMM Ilmenite Project

PR325058

REV. 1

12 septembre 2008

[2] DESCRIPTION TEXTUELLE DU PROJET QMM PO.Doc

RèvPO,Page 1

Le 20 Juillet 2007

[3] Optimization of shovel-truck system for surface mining by S.G. Ercelebi, and A.

Bascetin

The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2009

[4] Simulation of Loading and Haulage of Fragmented Rock in a Typical Granite Quarry
in

Ondo State, Nigeria B. M. Olaleye and P. E. Adagbonyin

Department of Mining Engineering,

The Federal University of Technology, Akure, Nigeria, 2010

[5] OPEN-PIT TRUCK/SHOVEL HAULAGE SYSTEM SIMULATION

A thesis submitted to
the graduate school of natural and applied sciences
of middle east technical university,2004
by Necmettin Cetin

[6] Université du Québec (UQ)

École de technologie supérieure

Service des enseignements généraux

Cours : travaux de génie civil

Sigle : tch-025

Module 5.0

Équipements et méthodes de construction

[7] Dossier Médico-Technique

Conduite et Santé

Une revue de littérature

Documents pour le médecin de travail N°113

Première trimestre 2008

WEBOGRAPHIE

<http://osha.europa.eu/fr/sector>

<http://www.riotintomadagascar.com/french/index.asp>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Ilménite>

ANNEXES

ANNEXE 1. Liste d'équivalence des numéros d'équipement

Premier no. d'équipement	Nouveaux no. d'équipement	Description
240-CY-15	CY-6703	Cyclone des sables résiduels de PDC
240-PP-17	P-4005	Pompe d'eau de procédé vers l'unité mobile MR-5801
240-ST-05	ST-6704	Pile des sables résiduels de PDC vers le concentrateur
310-BN-02	BN-5020	Trémie tampon du concentré (CML)
310-BN-03	BN-5009	Réservoir d'alimentation du concentré (CML)
310-CV-01	CV-5005	Convoyeur mobile d'alimentation du concentré (CML)
310-CV-02	CV-5004	Convoyeur mobile d'alimentation du concentré (CML)
310-CY-01	CY-5002	Cyclone de la réserve de concentré
310-HO-01	HO-5015	Trémie d'alimentation du concentré
310-HO-02	HO-5006	Trémie d'alimentation du concentré
310-JTC-01	STC-5007	Empileuse cyclonique (mobile) de concentré
310-PP-02	P-5021	Pompe
310-PP-03	P-5023	Pompe
310-PP-05	P-5013	Pompe
310-PP-06	P-5022	Pompe
310-SC-01	SC-5007	Tamis du circuit de préparation d'alimentation CML (CML)
310-SC-02	SC-5014	Tamis fixe du circuit de préparation d'alimentation CML (CML)
310-SC-03	SC-5017	Tamis vibrant du circuit de préparation d'alimentation CML (CML)
310-ST-02	ST-5003	Pile de concentré
310-TH-05	TH-5011	Trémie des résidus
320-AT-01 à 16	AT-5212 à 5227	Cellules d'attrition
320-BN-03	BN-5228	Trémie
320-BN-04	BN-5313	Trémie des Floatex
320-BN-05	BN-5316	Trémie de la surverse des Floatex
320-BN-06	BN-5319	Trémie d'alimentation des spirales épuiseuses
320-BN-07	BN-5406	Trémie des mixtes des spirales épuiseuses
320-BN-08	BN-5500	Trémie des résidus des spirales épuiseuses
320-BN-09	BN-5412	Trémie de retour d'eau vers le bassin de rétention
320-BN-11	BN-5419	Trémie des spirales dégrossisseuses du WZC
320-BN-12	BN-5432	Trémie des sables résiduels des spirales nettoyantes du WZC
320-BN-13	BN-5435	Trémie du concentré des spirales nettoyantes du WZC
320-BN-14	BN-5412	Trémie des résidus des spirales épuiseuses du WZC
320-BN-28	BN-6810	Trémie des non magnétiques vers le WZC
320-CH-02	CH-6812	Chute du convoyeur auxiliaire de ZirSill

330-CY-09	CY-5445	Cyclone de ZirSill humide 2
330-CY-20	CY-5447	Cyclone de ZirSill humide 3
330-CY-25	CY-5449	Cyclone de ZirSill humide 4
330-PP-33	P-5451	Pompe de puisard de drainage du ZirSill humide
330-ST-08	ST-5442	Pile de sables résiduels du WZC
330-ST-09	ST-5444	Piles de drainage de ZirSill humide
340-CY-10 à 13	CY-5600 à 5603	Cyclones de drainage du concentré No. 1 à 4
340-CY-21 à 24	CY-5604 à 5607	Cyclones de drainage du concentré No. 5 à 8
340-PP-21	P-5709	Pompe de drainage
340-ST-10	ST-5701	Piles de concentré pour drainage
350-BE-01	BE-6200	Élévateur à godets d'alimentation des SET No. 1
350-BE-02	BE-6218	Élévateur à godets d'alimentation des SET No. 2
350-BE-03	BE-6233	Élévateur à godets d'alimentation des SET No. 3
350-BE-04	BE-6301	Élévateur à godets d'alimentation des SET No. 4
350-BE-05	BE-6401	Élévateur à godets d'alimentation des SET No. 5
350-BE-06	BE-6501	Élévateur à godets d'alimentation des SET No. 6
350-BE-07	BE-6601	Élévateur à godets des séparateurs magnétiques de PDC
350-BE-08	BE-7000	Élévateur à godets du produit conducteur de PDC
350-BE-09	BE-7006	Élévateur à godets d'alimentation du PDC
350-BE-10	BE-7109	Élévateur à godets d'alimentation des SET primaires du DZC
350-BE-11	BE-7400	Élévateur à godets des séparateurs magnétiques du DZC
350-BE-13	BE-7505	Élévateur à godets du produit ZirSill vers l'emballage
350-BE-14	BE-7500	Élévateur à godets du produit ZirSill
350-BE-16	BE-7206	Élévateur à godets des SET secondaires du DZC
350-BE-17	BE-6801	Élévateur à godets des non magnétiques de PDC
350-BG-01	BG-7602	Unité d'ensachage du ZirSill
350-BN-17	BN-6006	Trémie d'alimentation de PDC No. 1
350-BN-18	BN-6007	Trémie d'alimentation de PDC No. 2
350-BN-20	BN-6115	Trémie d'alimentation des SET primaires de PDC
350-BN-21	BN-7003	Trémie du produit conducteur No. 1
350-BN-22	BN-7004	Trémie du produit conducteur No. 2
350-BN-23	BN-7010	Trémie d'alimentation du DZC
350-BN-25	BN-7600	Trémie de produit ZirSill vers l'emballage
350-BN-27	BN-6803	Trémie des non magnétiques
350-CV-07	CV-6002	Convoyeur d'alimentation du concentré vers PDC
350-CV-08	CV-6003	Convoyeur d'alimentation du concentré vers PDC
350-CV-09	CV-6005	Convoyeur d'alimentation du concentré vers PDC
350-CV-10	CV-6011	Convoyeur d'alimentation du séchoir de PDC

350-CV-14	CV-6118	Convoyeur d'alimentation du circuit SET No. 3
350-CV-15	CV-6213	Convoyeur des SET primaires
350-CV-16	CV-6316	Convoyeur des SET épuiseuses No. 1
350-CV-17	CV-6231	Convoyeur des SET épuiseuses No. 2
350-CV-18	CV-6232	Convoyeur des SET épuiseuses No. 3
350-CV-30	CV-6215	Convoyeur des non conducteurs No. 1
350-CV-31	CV-6214	Convoyeur des non conducteurs No. 2
350-CV-40	CV-6217	Convoyeur des conducteurs No. 1
350-CV-41	CV-6216	Convoyeur des conducteurs No. 2
350-CV-42	CV-7001	Convoyeur des conducteurs vers entreposage / expédition
350-CV-49	CV-6615	Convoyeur des non magnétiques
350-CV-50	CV-6617	Convoyeur des non magnétiques
350-CV-51	CV-6621	Convoyeur des non magnétiques
350-CV-52	CV-6614	Convoyeur des magnétiques
350-CV-53	CV-6616	Convoyeur des magnétiques
350-CV-54	CV-6618	Convoyeur des magnétiques
350-CV-55	CV-7008	Convoyeur du DZC
350-CV-56	CV-7012	Convoyeur du DZC
350-CV-57	CV-7103	Convoyeur du DZC
350-CV-58	CV-7106	Convoyeur du DZC
350-CV-59	CV-7011	Convoyeur du DZC
350-CV-60	CV-7205	Convoyeur du DZC
350-CV-61	CV-7305	Convoyeur du DZC
350-CV-62	CV-7407	Convoyeur du DZC
350-CV-63	CV-7504	Convoyeur du DZC
350-CV-72	CV-7207	Convoyeur du DZC
350-CV-73	CV-7306	Convoyeur du DZC
350-CV-79	CV-6009	Convoyeur d'alimentation vers PDC No. 1
350-CV-80	CV-6010	Convoyeur d'alimentation vers PDC No. 2
350-DR-01	DR-6100	Séchoir à lit fluidisé de PDC
350-DR-02	DR-7101	Séchoir à lit fluidisé de DZC
350-DR-03	DR-6504	Réchauffeur des SET épuiseuses No. 3
350-HO-02	HO-6001	Trémie d'alimentation du concentré de CML vers PDC
350-HO-05	HO-7007	Trémie d'alimentation du DZC
350-HO-06	HO-7601	Trémie d'alimentation de l'unité d'emballage du Zirsill
350-HTR-01 à 10	HTR-6203 à 12	SET primaires No. 1 du PDC
350-HTR-11 à 20	HTR-6221 à 30	SET primaires No. 2 du PDC
350-HTR-21 à 30	HTR-6236 à 45	SET primaires No. 3 du PDC
350-HTR-31 à 42	HTR-6304 à 15	SET épuiseuses No. 1 du PDC
350-HTR-43 à 48	HTR-6404 à 09	SET épuiseuses No. 2 du PDC
350-HTR-49 à 51	HTR-7202 à 04	SET primaires du DZC
350-HTR-52 à 54	HTR-7205 à 07	SET secondaires du DZC

350-HTR-55 à 58	HTR-6506 à 09	SET épuiseuses No. 3 du PDC
350-MS-01 à 05	MS-6604 à 08	Séparateurs magnétiques No. 1 à 5 du PDC
350-MS-06 à 10	MS-6609 à 13	Séparateurs magnétiques No. 6 à 10 du PDC
350-MS-11 à 14	MS-7403 à 06	Séparateurs magnétiques du DZC
350-PA-01	PA-7603	Unité de mise en palettes du Zirsill
350-PP-28	P-6805	Pompe des non magnétiques vers WZC
350-PP-29	P-6702	Pompe des sables résiduels de PDC
350-PP-47	P-6111	Pompe d'évacuation des sables résiduels de PDC
350-SC-03	SC-6106	Tamis de produit du séchoir de PDC
350-SC-04	SC-7104	Tamis de produit du séchoir de DZC
350-SC-05	SC-7503	Tamis de produit Zirsill du DZC
350-SC-07	SC-6412	Tamis des épuiseuses No. 3 du PDC
350-SF-01	SF-6108	Vis d'évacuation des poussières du cyclone de PDC
350-SF-02	SF-6101	Vis d'évacuation des poussières du séchoir de PDC
350-SF-03	SF-7102	Vis d'évacuation des poussières du séchoir de DZC
350-ST-06	ST-7005	Pile de produit conducteur de PDC
350-ST-11	ST-6511	Pile de sables résiduels de PDC
350-ST-12	ST-6413	Pile des mixtes de PDC
350-SU-01	SU-6804	Puisard des non magnétiques vers WZC
350-SU-02	SU-6701	Puisard des sables résiduels de PDC
350-TK-01	TK-6110	Trémie d'évacuation des sables résiduels de PDC
350-WR-01	WR-7604	Unité d'emballage du Zirsill
360-PO-07	PO-4000	Bassin de rétention
360-SC-02 et 03	SC-4004A et B	Tamis Sieve Bend pour l'eau
360-TK-03	TK-4004	Réservoir d'eau
360-PP-25	P-4012	Pompe d'eau d'appoint vers l'usine de Zirsill humide
360-PP-26	P-4010	Pompe d'eau de procédé vers les Floatex
360-PP-27	P-4011	Pompe d'eau d'appoint vers l'usine de préparation du minéral
360-PP-39	P-4007	Pompe d'eau de procédé vers la manutention du concentré
360-PP-40	P-4008	Pompe d'eau à haute pression vers l'alimentation de CML
360-PP-41	P-4009	Pompe d'eau de lavage et d'arrosage
360-PP-42	P-4006	Pompe d'eau de procédé vers les réservoirs SU-6804 et 6701, vers les installations électriques (Secteur 370) et vers la chute du convoyeur auxiliaire de Zirsill (CH-6812)
360-PW-02	PW-4013	Unité de traitement de l'eau potable

ANNEXE 2. Minimisation temps d'attente de camion

chargeuse appelée pour l'alimentation du HO-7007														
			Tci(mn)				temps d'attente de camion Tai=Tch-Tci (mn)				ki=min { Tch-Tci,0}			
secteur de chargement	sites de déchargement	Tch(mn)	Tc 1	Tc 2	Tc 3	T c4	Ta1	Ta2	Ta3	Ta4	k1	k2	k3	k 4
Feed prep et wet zirsill	st-5003	4,56	6,5	3,6 1	2,3 8	0	-1,94	0,95	2,18	4,56	FP-st5003			
	mine (sables résiduels)		12,96	7,4 3	5,2 2	0	-8,4	-2,87	-0,66		FP-mine	FP-mine	FP-mine	
Dry mill	st-5003	7,73	7,5 3	3,7 7	2,5 4	0	0,2	3,96	5,19	7,73				
	stockpile mids1		10,84	6,1 1	4,2	0	-3,11	1,62	3,53		DM-stmids1			
	mine(rejemag)		26,81	14,06	12,21	0	-19,08	-6,33	-4,48		DM-rejet mag	DM-rejet mag	DM-rejet mag	
	stockpilezirsill		10,51	5,5 2	3,9 6	0	-2,78	2,21	3,77		DM- stNCNM			
drainingbay	st_5003	10,11	5,6 1	3,1 7	1,9 4	0	4,5	6,94	8,17	10,11				
tails	mine(sables résiduels)	11,21	11,5	6,5 7	4,3 6	0	-0,29	4,64	6,85	11,21	tails-mine			

	chargeuse appelée pour le chargement de train routier													
			Tci(mn)				temps d'attente de camion Tai=Tch-Tci (mn)				ki=min { Tch-Tci,0}			
secteur de chargement	sites de déchargement	Tch(mn)	Tc1	Tc2	Tc3	Tc4	Ta1	Ta2	Ta3	Ta4	k1	k2	k3	k4
Feed prep et wet zirsill	st-5003	12,76	6,5	3,6 1	2,3 8	0	6,26	9,15	10,38	12,76				
	mine (sables résiduels)		12,96	7,4 3	5,2 2	0	-0,2	5,33	7,54		FP-mine			
Dry mill	st-5003	8,56	7,5 3	3,7 7	2,5 4	0	1,03	4,79	6,02	8,56				
	stockpile mids1		10,84	6,1 1	4,2	0	-2,28	2,45	4,36		DM-stmidd1			
	mine(rejemag)		26,81	14,06	12,21	0	-18,25	-5,5	-3,65		DM-mine(rejet mag)	DM-mine(rejet mag)	DM-mine(rejet mag)	
	stockpilezirsill		10,51	5,5 2	3,9 6	0	-1,95	3,04	4,6		DM-stNCNM			
drainingbay	st_5003	18,76	5,6 1	3,1 7	1,9 4	0	13,15	16,82	16,82	18,76				
tails	mine(sables résiduels)	17,56	11,5	6,5 7	4,3 6	0	6,06	10,99	13,2	17,56				

ANNEXE 3. Feuille de route chargeuse

LOADER TRIP SHEET

date:

Vehiclenumber:
operatorname:

commentsdelay	tasks	stops	time		kilometers of hours		zone	tasks	number
			start	end	opening	closing			
							parking		A0
							cyclone	hopper 5015	A1
								hopper 6808	A2
								stockpilestacker	A3
								hoppermagnetics	A4
								stockpiletailings	A5
								other	A6
							Dry mill	HMC floor	B1
								bunker midds	B2
									B3
								bunker non conducteur	B4
								bunker zirsill	B5
								overflow shed	B6
								loadingbayilmenite	B7
								loadingbayzirsill	B8
								dryer	B9
								bunker plancher	B10
							FeedPrep	HMC floor	C1
								bunkers	C2
								canal	C3

							drainage bayilmenite	hopper 6001	D1
								bay 5600 to 5607	D2
								mids 01	D3
								behindbay	D4
							drainage bayzirsill	hopper 7007	E1
								bay 1 to 4	E2
								behindbay	E3
							settling pond	bassin	F1
								stockpiles	F2
							port		P
							workshop		W
							stops	number	
							refuel	G	
							maintenance	H	
							breakdown	I	
							delay	J	
							pre-trip inspection	K	
							driver/operator break	L	
							test fatigue	M	
							safety inspection	N	
							no work required by qmm	O	
							intervention stop	P	
							other	Q	
TOTAL HEURE:									
TOTAL Km:									
supervisor name:									
date & time of signature:									

**ANNEXE 4. Feuille de route camion
benne**

DUMP TRUCK
TRIP SHEET

date:

Vehiclenumber:

Driver name:

commentsdelay	loads/dumps	stops	time		kilometers of hours		total number of trip	zone	loads	number
			start	end	opening	closing				
								parking		A0
								Dry mill	HMC floor	A1
									bunker midds	A2
										A3
									bunker non conducteur	A4
									bunker zirsill	A5
									rejet mag	A6
									bunker plancher	A7
								FeedPrep	HMC floor	B1
									bunkers	B2
									canal	B3
								drainage bay canal	HMC	C1
									Zirsill	C2
								stockpile tailings	tails	D1
								settling pond	settling pond material	D2
								zone	dumps	number

								site	stockpilestacker	E1
									stockpilemidds 1	E2
									stockpilemidds 2	E3
									stockpile non conducteur	E4
									stockpilesettling pond	E5
									stockpilezirsill	E6
								mine	mine rejet mag	F1
									mine tails	F2
								Workshop		W
								stops	number	
								refuel	G	
								maintenance	H	
								breakdown	I	
								delay	J	
								pre-trip inspection	K	
								driver/operator break	L	
								test fatigue	M	
								safety inspection	N	
								no work required by qmm	O	
								intervention stop	P	
								other	Q	
TOTAL HEURE:										

TOTAL Km:

Supervisorname:

date & time of

signature:

ANNEXE 5. Opérations de calculs pour la recherche du nombre optimal de train routier

5.1. Cas pour la mobilisation de 3 trains routiers

L'occupation en chargement est déterminée par (5):

$$\eta_1 = 1 - (P(0300) + P(0030) + P(0003) + P(0021) + P(0012) + P(0111) + P(0120) + P(0210) + P(0201) + P(0102))$$

$$\eta_1 = 0,31$$

L'occupation en déchargement est déterminée par (6) :

$$\eta_3 = 1 - (P(3000) + P(0300) + P(0003) + P(1200) + P(2100) + P(1002) + P(2001) + P(0201) + P(0102) + P(1101))$$

$$\eta_3 = 0,18$$

Le nombre de camion moyen servi en chargement est déterminé par (7)

$$\Theta_1 = 0,31 \times 0,12$$

$$\Theta_1 = 0,04$$

Le nombre de camion moyen servi en déchargement est déterminé par (7)

$$\Theta_3 = 0,18 \times 0,20$$

$$\Theta_3 = 0,04$$

Le nombre moyen de camion en file d'attente de chargement est déterminée par (8) :

$$L_{q1} = 2P(3000) + P(2100) + P(2001) + P(2010)$$

$$L_{q1} = 0,11$$

Le nombre moyen de camion en file d'attente de déchargement est déterminée par (8)

$$L_{q3} = 2P(0030) + P(0021) + P(1020) + P(0120)$$

$$L_{q3} = 0,03$$

Le temps moyen de file d'attente en chargement est déterminé par (9):

$$W_{q1} = 0,11 / 0,04$$

$$W_{q1} = 3,02 \text{ mn}$$

Le temps moyen de file d'attente en déchargement est déterminé par (10) :

$$W_{q3} = 0,03 / 0,04$$

$$W_{q3} = 0,90 \text{ mn}$$

Temps de cycle total d'un camion est déterminé par (11):

$$T_{cy} = \frac{1}{0.12} + \frac{1}{0.04} + \frac{1}{0.20} + \frac{1}{0.04} + 3,02 + 0,90$$

$$T_{cy} = 69,59 \text{mn}$$

Le tonnage que peut transporter par les flottes de train routier par jour est déterminé par (12) :

$$P = \frac{600}{69.59} * 3 * 90$$

$$P = 2327,92 \text{ tonnes}$$

La production d'une flotte de 3 trains routiers en un cycle est 269,99 t/cycle.

Le nombre de cycle nécessaire pour transporter 2016 tonnes est déterminer par:

$$N = \frac{\text{tonnage à transporter}}{\text{production de la flotte /cycle}}$$

$$N = \frac{2016}{269,99}$$

5.2. Cas pour la mobilisation de 2 trains routiers

L'occupation en chargement est :

$$\eta_l = 1 - (P(0002) + P(0020) + P(0200) + P(0110) + P(0011) + P(0101))$$

$$\eta_l = 0,29$$

L'occupation en déchargement est :

$$\eta_3 = 1 - (P(0002) + P(0200) + P(2000) + P(1100) + P(1001) + P(0101))$$

$$\eta_3 = 0,16$$

Le rendement en chargement est :

$$\Theta_1 = 0,29 \times 0,12$$

$$\Theta_1 = 0,03$$

Le rendement en déchargement est :

$$\Theta_3 = 0,16 \times 0,20$$

$$\Theta_3 = 0,03$$

Le nombre moyen de camion en file d'attente de chargement est :

$$L_{q1} = 0,06$$

Le nombre de camion en file d'attente de déchargement est :

$$L_{q3} = 0,02$$

Le temps d'attente en chargement est :

$$W_{q1} = 0,06 / 0,03$$

$$W_{q1} = 1,8 \text{ mn}$$

Le temps d'attente en déchargement est :

$$W_{q3} = 0,02 / 0,03$$

$$W_{q3} = 0,6 \text{ mn}$$

Le temps de cycle total est :

$$T_{cy} = \frac{1}{0,12} + \frac{1}{0,04} + \frac{1}{0,20} + \frac{1}{0,04} + 1,80 + 0,60$$

$$T_{cy} = 68,07 \text{ mn}$$

Le tonnage transporté est:

$$P = \frac{600}{68,07} \times 2 \times 90$$

$$P = 1586,6 \text{ t}$$

5.3. Cas pour la mobilisation de 4 trains routiers

L'occupation en chargement est

$$\eta_l = 1 - (P(0,0,0,4) + P(0,0,1,3) + P(0,1,0,3) + P(0,0,2,2) + P(0,1,1,2) + P(0,2,0,2) + P(0,0,3,1) + P(0,1,2,1) + P(0,2,1,1) + P(0,3,0,1) + P(0,0,4,0) + P(0,1,3,0) + P(0,2,2,0) + P(0,3,1,0) + P(0,4,0,0))$$

$$\eta_l = 0,32$$

L'occupation en déchargement est :

$$\eta_3 = 1 - (P(0 \ 0 \ 0 \ 4) + P(0 \ 1 \ 0 \ 3) + P(1 \ 0 \ 0 \ 3) + P(0 \ 2 \ 0 \ 2) + P(1 \ 1 \ 0 \ 2) + P(2 \ 0 \ 0 \ 2) + P(0 \ 3 \ 0 \ 1) + P(1 \ 2 \ 0 \ 1) + P(2 \ 1 \ 0 \ 1) + P(3 \ 0 \ 0 \ 1) + P(0 \ 4 \ 0 \ 0) + P(1 \ 3 \ 0 \ 0) + P(2 \ 2 \ 0 \ 0) + P(3 \ 1 \ 0 \ 0) + P(4 \ 0 \ 0 \ 0))$$

$$\eta_3 = 0,18$$

Le rendement en chargement est :

$$\Theta_1 = 0,32 \times 0,12$$

$$\Theta_1 = 0,04$$

Le rendement en déchargement est :

$$\Theta_3 = 0,18 \times 0,20$$

$$\Theta_3 = 0,04$$

Le nombre moyen de camion en file d'attente de chargement est :

$$L_{q1} = 0,13$$

Le nombre moyen de camion en file d'attente de déchargement est :

$$L_{q3} = 0,04$$

Le temps d'attente en chargement est :

$$W_{q1} = 0,13 / 0,04$$

$$W_{q1} = 3,61 \text{ mn}$$

Le temps d'attente en déchargement est :

$$W_{q3} = 0,04 / 0,04$$

$$W_{q3} = 1,04 \text{ mn}$$

Le temps de cycle total est :

$$T_{cy} = \frac{1}{0,12} + \frac{1}{0,04} + \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,04} + 3,61 + 1,04$$

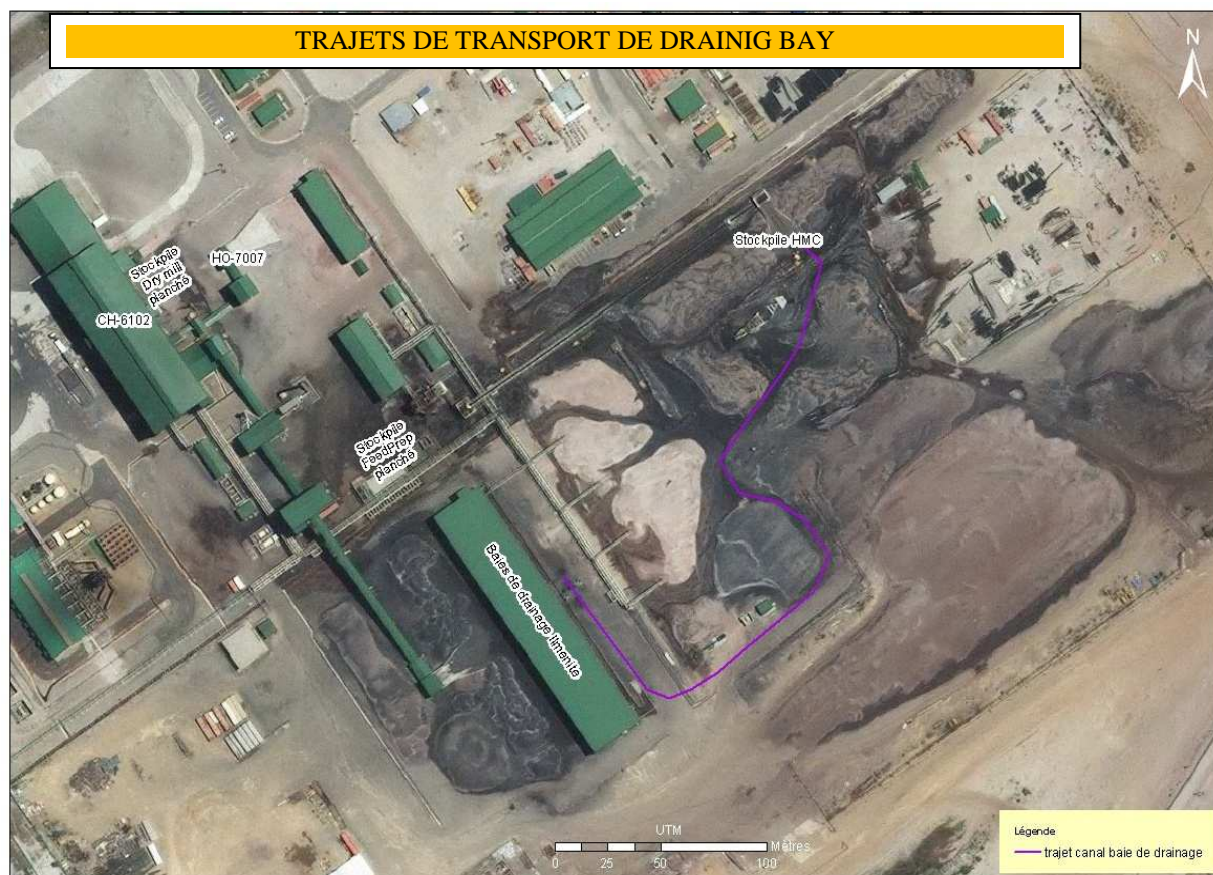
$$T_{cy} = 70,33 \text{ mn}$$

Le rendement d'une flotte de 4 trains routiers est:

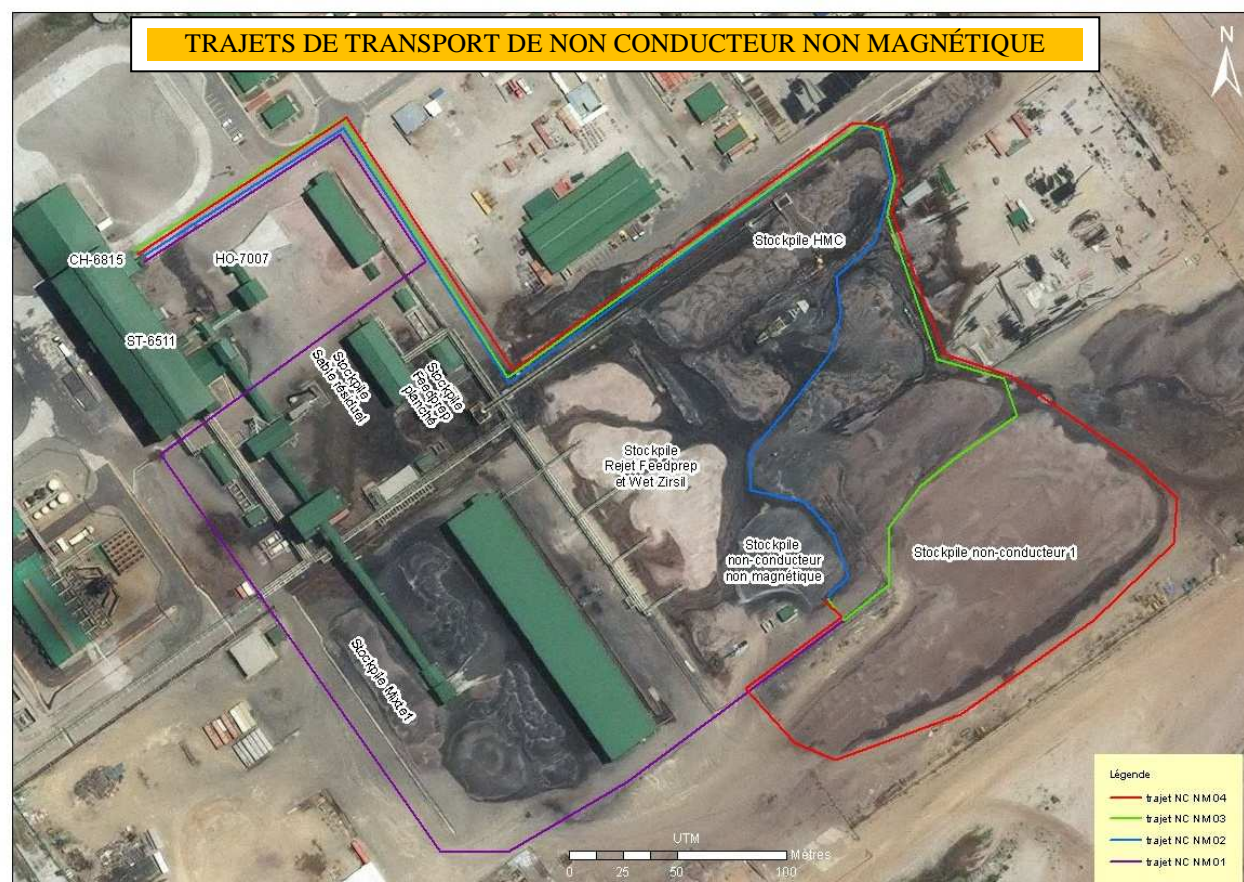
$$P = \frac{600}{70.33} \times 4 \times 90$$

$$P = 295,90 \text{ t/jour}$$

ANNEXE 6. Cartes







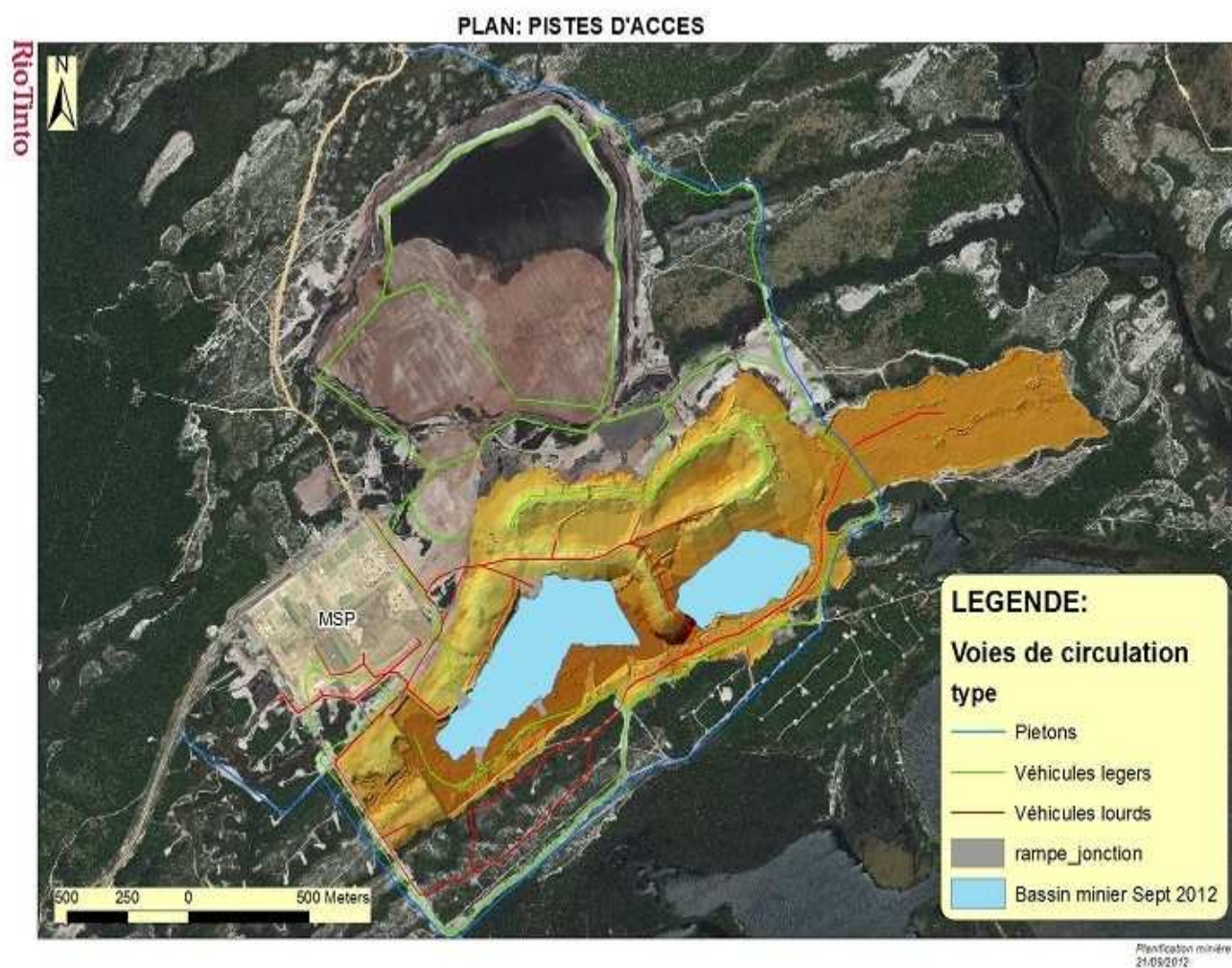


TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES	iii
LISTE DES PHOTOS	iv
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES GRAPHES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES ANNEXES	ix
INTRODUCTION	1
PREMIÈRE PARTIE : PRODUCTION D'ILMÉNITE CHEZ RIO TINTO QMM.....	1
Chapitre I: Le gisement	5
I.1: Forme de gisement	5
I.2: Type de gisement	5
I.3: Estimation des reserves	8
Chapitre II: TRAITEMENT DU MINERAI [1], [2]	9
II.1: Processus de traitement	9
II.2: Dragage et exploitation minière à sec.	10
II.2.1: Le dragage	10
II.2.2: Unité d'exploitation minière à sec (DMU pour « Dry Mining Unit ») ...	10
II.3: Usine flottante	11
II.3.1 : Principes d'opérations	12
II.3.1.1: Tamis rotatif (trommel) et trémie d'alimentation (tampon).....	12
II.3.1.2: Pompages d'alimentation des spirales primaires.....	13
II.3.2 : Système d'épuisement des mixtes	13
II.3.3 : Système des spirales secondaires (concentré)	13
II.3.4 : Système d'épuisement et de nettoyage des sables résiduels	14
II.3.5 : Transfert des secondaires	14
II.3.6 : Système de transfert du concentré	14
II.3.7 : Système de transfert des sables résiduels	14
II.3.8 : Système de transport des sables résiduels	15
II.4: Usine de séparation minérale (MSP pour « Mineral Separation Plant »)	16
II.4.1: Le circuit de préparation d'alimentation (FPC pour « FeedPreparation Circuit »)	17

II.4.1.1 : Alimentation du circuit de préparation d'alimentation.....	17
II.4.1.2 : Cyclones d'attrition	17
II.4.1.3: Cellules d'attrition	17
II.4.1.4 : Séparateur à sédimentation entravée (Floatex) et circuit de spirales.....	18
II.4.1.5. Circuit de manutention du concentré :.....	19
II.4.1.6: Entreposage du concentré.....	19
II.4.2: Le circuit de production d'Ilménite (PDC pour « Primary Dry Circuit »).....	20
La récupération des minéraux de titane dans tout le procédé de Rio Tinto QMM est d'environ 84 %.....	20
II.4.2.1: Alimentation	20
II.4.2.2: Séchoir à lit fluidisé.....	21
II.4.2.3 : Séparateurs électrostatiques à tambour SET (HTR pour « High Tension Roll »).....	22
II.4.2.4: Réchauffeur	23
II.4.2.5: Séparateurs magnétiques à rouleaux SMR (RER pour « Rare Earth Roll »)	23
II.4.3: Circuit humide de Zirsill (WZC pour « WetZirsill Circuit »)	24
II.4.3.1: Alimentation du circuit.....	24
II.4.3.2: Circuit de spirales	24
II.4.4: Le circuit sec de Zirsill (DZC pour « Dry Zirsill Circuit »).....	25
II.4.4.1: Alimentation du circuit.....	26
II.4.4.2 : Séchoir à lit fluidisé.....	26
II.4.4.3: Séparateurs électrostatiques à tambour (SET).....	26
II.4.4.4: Séparation magnétique à rouleaux (SMR).....	26
II.5: Transport des produits	27
II.5.1: Contractant en charge du transport des produits chez Rio Tinto QMM.....	27
II.5.1.1: Présentation d'UNIMAT	27
II.5.1.2 : Organisation d'UNIMAT	28
II.5.2: Transport du produit fini d'ilménite	29
II.5.2.1: Moyens de transports utilisés	29
II.5.2.2 : Opération de chargement.....	30
II.5.2.3: Opération de transport	31
II.5.2.4: Opération de déchargement.....	32
II.5.2.5: Finalité de l'ilménite.....	32
II.5.3: Transport du produit fini de zirsill.....	33
II.5.3.1: Moyen de transport utilisé	33

II.5.3.2: Opération de chargement.....	34
II.5.4: Transport des produits intermédiaires de l'usine.....	34
II.5.4.1: Moyen de transport utilisé	34
II.5.4.2: Opération de chargement.....	34
II.6: HSE (Health Safety and Environment):	35
II.7: Conclusion	35
DEUXIÈME PARTIE : PROPOSITION D'OPTIMISATION DU TRANSPORT DES PRODUITS ET MATÉRIAUX CHEZ RIO TINTO QMM	36
Chapitre III: PROBLEMATIQUE DU TRANSPORT DES PRODUITS ET MATERIAUX 38	
III.1 : Inventaire et types de matériaux :	38
III.1.1: Les types de matériaux	38
III.1.1.1: Secteur Feedprep et wet zirsill	38
III.1.1.2: Secteur dry mill	40
III.1.2: Estimation de la quantité des matériaux.....	43
III.2 : Organisation et mode de transport des matériaux existants	44
III.3 : Analyse et statistique du temps de transport de chaque type de matériaux	45
III.4: Temps de transport nécessaire	46
III.4.1: Temps de chargement	47
III.4.2 : Temps de trajet aller-retour	48
III.4.3 : Temps de déchargement.....	48
III.5 : Temps d'attente des camions bennes	50
III.5.1: Attente d'affectation.....	50
III.5.2: Attente dû à la chargeuse	50
III.5.2.1: La chargeuse pour l'alimentation de la trémie (HO-5015)	50
III.5.2.2: La chargeuse pour l'alimentation de la trémie (HO-6001)	51
III.5.2.3: La chargeuse pour le chargement des camions bennes	51
III.5.3: File d'attente de refueling	53
III.6: Condition de transports	54
III.6.1: Condition pour le transport de produit fini vers le port	54
III.6.2 : Condition pour le transport par camion benne	54
III.6.3: Condition pour la conduite des chargeuses frontales	54
III.7: Environnement des conducteurs	55
III.7.1: Exposition au bruit	55

III.7.2: Exposition à la poussière totale.....	56
III.7.3: Exposition à la radiation.....	57
III.7.4: Exposition à la vibration	57
III.7.5: Exposition à la chaleur	58
III.8: Coût de transport engendré	58
III.8.1: Coût fixe et coût variable	58
III.8.2 : Coût d'attente des camions bennes	59
Chapitre IV: PROPOSITION D'OPTIMISATION DU TRANSPORT [3], [4], [5], [6], [7]	60
IV.1: Minimisation de temps d'attente d'affectation des camions bennes.....	60
IV.1.1: Détermination du nombre optimale de camion par la théorie du réseau fermé de file d'attente.	61
IV.1.1.1: La méthode de la théorie du réseau fermé de file d'attente	61
IV.1.1.2: Application sur les camions bennes	64
a.Détermination du coût unitaire de transport par un seul camion benne	64
b.Détermination du coût unitaire de transport par flotte de deux camions bennes.....	65
c. Détermination du coût unitaire de transport par une flotte de trois camions bennes.....	68
IV.1.1.3 : Traçage de la courbe de coût de transport par rapport au nombre de camions.....	69
IV.1.2 : Solution optimale proposée.....	70
IV.2 : Minimisation du temps d'attente dû à la chargeuse	71
IV.2.1: Minimisation du temps d'attente des camions lorsque la chargeuse reçoit l'ordre d'alimenter la trémie HO-7007	71
IV.2.2 : Interprétation des résultats	74
IV.4.3: Solution optimale proposée.....	75
IV.3: Minimisation du temps d'attente des camions lorsque la chargeuse est appelée à charger de l'ilménite provenant du hangar un train routier.....	76
IV.3.1: Interprétation des résultats	77
IV.3.2: Solution optimale proposée.....	77
IV.4: Organisation dans le cas de fuites de rejets magnétiques radioactifs	79
IV.5: Proposition de feuilles de routes pour les conducteurs	85
IV.5.1: Feuille de route chargeuse.....	86
IV.5.2 : Feuille de route camion bennes.....	86
IV.6 : Optimisation de production de chargeuse	86

Chapitre V: PROPOSITION D'OPTIMISATION DU TRANSPORT POUR LE
FUTUR 87

V.1: Détermination du nombre optimal de camion benne par la théorie du réseau fermé de file d'attente	87
V.2: Optimisation du transport de produit fini d'ilménite	88
V.2.1: Détermination du nombre optimale de train routier par le réseau fermé de file d'attente	88
V.2.1.1: Cas pour la mobilisation de 3 trains routiers	88
V.2.1.2: Cas pour 2 trains routiers disponibles	92
V.2.1.3 : Cas pour 4 trains routiers mobilisés	94
V.2.2: Solution optimale proposée	96
Chapitre VI: OPTIMISATION DE L'HYGIÈNE, SANTÉ, ENVIRONNEMENT ET SECURITÉ DES CONDUCTEURS.....	96
IV.1 : Optimisation de la sécurité des conducteurs	96
IV.1.1: Etat des pistes d'accès.....	96
VI.1.2: Solution optimale proposée.....	97
VI.2: Optimisation sur la santé des conducteurs	97
VI.2.1: Les principaux risques et dangers physiques	97
VI.2.2: Les conducteurs de trains routiers.....	98
VI.2.2.1: Minimisation des risques liés à la position assise prolongée et vibrations	98
VI.2.2.2: Minimisation des risques liés à la fatigue et au stress.....	98
VI.2.3: Les conducteurs de camions bennes.	99
VI.2.3.1: Minimisation des risques liés à la position assise prolongée et vibrations	99
VI.2.3.2: Minimisation des risques liés à la fatigue et au stress.....	99
VI.2.3.3: Minimisation des risques liés à l'exposition aux poussières	100
VI.2.4: Les opérateurs chargeuses.....	100
VI.2.4.1: Minimisation des risques liés à la position assise prolongée et vibrations	101
VI.2.4.2: Minimisation des risques liés à la fatigue et au stress.....	101
VI.2.4.3 : Minimisation des risques liés à l'exposition aux poussières.....	101
VI.3: Conclusion	102
CONCLUSION	103
BIBLIOGRAPHIE	I
WEBOGRAPHIE.....	II
ANNEXES	III

Titre : « ÉTUDE D'OPTIMISATION DU TRANSPORT DES MATÉRIAUX CHEZ RIO TINTO QMM »

Nombre de pages : 103

Nombre de tableaux : 48

Nombre de figures : 11

Nombre de photographies : 14

Nombre de graphes : 6

Nombre des annexes : 6

RESUMÉ

Ce travail a été entrepris dans le but d'optimiser le transport des matériaux intermédiaires (mixtes, rejets, résidus) et produits finis (ilménite, zirsill) chez Rio Tinto QMM en matière de coût tout en tenant compte des conditions (santé, Sécurité, Environnement) des travailleurs.

Les camions bennes transportent les matériaux intermédiaires tandis que les trains routiers transportent le produit fini d'ilménite.

La détermination du nombre optimal de camion qui minimise le coût a été faite à partir de la méthode de la théorie du réseau fermé de file d'attente en utilisant des valeurs de chronométrage des parcours des engins.

L'application de cette méthode a permis de faire un rapport direct entre le nombre de camion et le coût unitaire de transport.

Le nombre de camion benne optimal obtenu est 2.

Le nombre de train routier obtenu est 4 lorsque la production atteindra 750 000 t/an.

L'optimisation considère aussi plusieurs autres paramètres qui affectent le transport (temps d'attente, fuites imprévues de rejets magnétiques, temps perdus).

La santé, la sécurité, l'environnement, des travailleurs ont été prises en compte car ce sont des valeurs importantes pour la société Rio Tinto QMM.

Mots clés : Rio Tinto QMM , ilménite, zirsill, optimisation, transport, mine, sécurité.

SUMMARY

This work was undertaken in order to optimize the haulage of intermediate materials (mids, tails) and final products (ilmenite, zirsill) at Rio Tinto QMM in terms of cost, taking into account the worker fitness (health, safety, Environment).

Dump trucks transport intermediate materials and trailers transport final products (ilmenite).

Determining the optimal number of trucks that minimizes the cost was made from the method of closed queuing theory network using values of timing of the haulage.

The application of this method enabled a direct relationship between the number of truck and the unit cost of transport.

The optimal number of dump trucks found is 2.

The number of trailers found is 4 when production reaches 750,000 ton per year.

The optimization also considers several other parameters that affect haulage (waiting time, unexpected leakage magnetic discharges, time lost).

Health, Safety, Environment, of workers have been taken into account because they are important values for Rio Tinto QMM.

Key words: Rio Tinto QMM , ilmenite, zirsill, optimization, haulage, mine, safety.

Auteur: NDREMIHAJA Rojolalaina

Tél : 033 03 437 53

Mail: phoenix.diamond092@gmail.com

Adresse: lot 8 cité SEIMAD Antamponjina Fianarantsoa (301)

Rapporteurs: Dr ARISOA Rivah Kathy,

Mme RAKOTONIAINA Janie,

Mr RAZAKAVOLOLONA Riana