

CONCEPTION D'UN SÉPARATEUR MAGNÉTIQUE A HAUTE INTENSITÉ (SMHI) POUR L'ENRICHISSEMENT DES DÉCHETS DE L'UNITÉ DE LA LAVERIE ET DE DÉPHOSPHORATION DE L'USINE DE TRAITEMENT DES MINÉRAIS DE CHROMITE DE LA SOCIÉTÉ KRAOMA-MADAGASCAR

Simon RAKOTOARISON, Mandaniarivo R. RAZAFINTSALAMA,
Ravakiniaina H. RAFIDIJAONA, Rijaniaina F. ANDRIAMANANTENA

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la valorisation des déchets de l'exploitation des minerais de chromite d'Andriamena dans les usines de la Société KRAOMA, nous avons développé une série d'enrichissement de tous les déchets disponibles. Les rejets des fines issus du traitement gravimétrique et ceux de l'unité de déphosphoration sont particulièrement concernés par cette étude. Une analyse qualitative et quantitative des différents types de déchets cumulés autour des usines de traitement a été effectuée, ensuite un traitement d'enrichissement a été envisagé. Le traitement proposé est celui d'un séparateur magnétique à haute intensité (SMHI) dont la conception est détaillée dans cette étude. Les résultats obtenus sont les suivants :

- ✚ L'intensité de courant pour traiter les déchets de déphosphoration est fixée entre 2,5 A et 3,5 A, et celle appliquée aux déchets de la laverie entre 3,5 A et 5,5 A. Le réglage de l'entrefer de l'appareil est fixé à 3 mm.
- ✚ Le rendement de l'enrichissement en Cr_2O_3 est de 95% pour les déchets de déphosphoration, et de 80 % à 90 % pour les déchets de la laverie.

Mots clés : déchets, chromite, Andriamena, séparateur magnétique, déphosphoration, enrichissement. Gravimétrique. SMHI.

INTRODUCTION

Les minerais de chromite ont été exploités depuis 1968, [11] mais depuis les vingt dernières années, le prix de la chromite sur le marché mondial est très fluctuant et accuse très souvent des baisses en cascades avant de se ressaisir petit à petit. Le prix maximum forme parfois un cycle de moins de cinq années avant de retomber de nouveau à son plus bas de l'échelle. Le cycle forme donc une sinusoïde bien élargie à la base mais plutôt serrée à la hauteur.

En faisant une expertise des minerais rejetés des usines de traitement, nous avons pu remarquer d'énormes montagnes de déchets se dressant aux alentours du lieu de traitement. Ces déchets dataient d'il y a quarante ans depuis le début d'exploitation de chromite d'Andriamena et cette accumulation des produits considérés comme inutiles donne une image plus que négative de l'environnement aux alentours de l'usine. Aussi, le but de cette étude est de récupérer des chromites résiduelles dans ces déchets car une quantité non négligeable des produits encore valorisables sont encore restés dans ces déchets.

Les parties concernées par cette étude sont les déchets issus de l'unité gravimétrique et de celle de l'usine de déphosphoration. La récupération des minerais commercialisables aidera certainement la production de la Société Kraoma, car les déchets cumulés sont quand même très importants malgré sa teneur en chromite relativement assez faible, mais une fois enrichis à la teneur acceptée par le marché, ils feront l'objet d'une plus-value certaine pour la comptabilité de la Société.

I. ANALYSE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DES DIFFÉRENTS TYPES DE DÉCHETS

1. Qualité de la chromite. [2].

Les spécifications chimiques sont caractérisées par le teneur en chrome et en fer et le ratio Cr/Fe, ainsi que les éléments fondants SiO_2 , Al_2O_3 , MgO . Mais des éléments nuisibles peuvent intervenir de manière pénalisante, par exemple la teneur en phosphore pour les usages métallurgiques. La chromite métallurgique doit avoir une teneur élevée en chrome et faible en fer. La chromite chimique peut avoir une teneur en chrome plus faible et une teneur en fer plus élevée. Les chromites réfractaires doivent avoir une teneur en Al_2O_3 élevée, une teneur en SiO_2 assez faible et une teneur en chrome plus faible. Les fines doivent avoir une granulométrie très fine, une teneur en Al_2O_3 élevée et une teneur en SiO_2 faible.

Tableau 1. Classement classique de la chromite suivant leur utilisation

Utilisation	Métallurgique	Chimique	Réfractaire	Fonderie
Éléments				
Cr_2O_3 (%)	> 46	> 44	30 - 40	44 min
Cr/Fe	> 3 / 1	> 1,5 / 1	> 2 - 2,5 / 1	-
SiO_2 (%)	< 10	< 3,5	6	4
Al_2O_3 (%)	-	-	25 -30	-
Fe_2O_3 (%)	-	-	-	2,6 max
CaO (%)	-	-	-	0,5
Physique	Hard / lumpy	Lumpy	Lumpy / friable	Fines

2. Normes requises des produits : [10], [14]

Tableau 2. Caractéristiques des produits commercialisables

Éléments	Concentrés	Rocheux
Cr_2O_3 (%)	49 Min	> 44
Cr/Fe	2,4	> 1,5 / 1
SiO_2 (%)	6 Max	< 3,5
Al_2O_3 (%)	13 - 16	-
MgO (%)	12 - 14	17 -20
FeO (%)	17 -18	13 -16
P (%)	0,009 Max	0,007 Max
H ₂ O (%)	6	1
Granulométrie	40 μ < 90% >1000 μ	25 mm < 70% > 150 mm 30% < 25 mm

3. Les déchets concernés par l'étude

Les déchets issus de ces deux unités constituent la majorité des déchets « fins » de l'usine de traitement des minerais de chrome et contiennent encore des minerais de chrome avec 16 à 25% de Cr_2O_3 [3]

a. Composition minéralogique des déchets. . [11], [13]

Tableau 3. Analyse minéralogique des déchets

Élément	Densité	Composition chimique	Dureté
Chromite	4,5 à 4,8	Cr_2O_3 (%), FeO	7,3 à 7,8
Quartz	2,65	SiO_2	7,0
Mica	2,0 à 3,0	Fluorosilicate K, Mg, Fe et Mn	2,0 à 3,0
Apatite	3,2	Fluorophosphate Ca	5,0
Talc	2,6 à 3,0	Silicate de Mg	1,0
Amphibole	3,0 à 3,3	Silicate Ca, Mg, Fe et F	5,5 à 6,0

Élément	Densité	Composition chimique	Dureté
Pyroxène	3,0 à 3,3	Silicate Ca, Na, Mg, Fe, Mn, Al et F	5,6
Serpentine	2,5 à 2,6	Silicate Mg	2,5 à 3,5
Péridot	3,2 à 4,3	Silicate de Fe et Mg	4,0
Monazite	4,8 à 5,5	Phosphate Ce, La, Y et Th	5,0 à 6,5

b. Quantité de déchets [9] :

Tableau 4. Granulométrie et teneur en Cr₂O₃ des déchets

Type de déchets	granulométrie	Teneur Cr ₂ O ₃
Déchet de la laverie	Inférieure à 10 µ	16 à 25%
Déchet de la déphosphoration	Inférieure à 1 mm	22%

La quantité de déchets de la laverie en 34 ans (1969 à 2003) est estimée à 285 000 tonnes (16 à 25% en Cr₂O₃) et celle issue de l'usine de déphosphoration de 60 000 tonnes (22% en Cr₂O₃).

II. ÉTUDE GRANULOMÉTRIQUE DES DÉCHETS.

Afin de proposer une méthode adéquate de traitement de déchets, des analyses granulométriques s'avéraient nécessaires pour les deux différentes sortes de déchets.

Les résultats des analyses granulométriques sont regroupés dans le tableau 5 ci-dessous :

Tableau 5. Analyse granulométrique des deux rejets

Ouverture de tamis (µ)	DÉCHET LAVERIE Masse : 1000g			DÉCHET DÉPHOSPHORATION Masse : 1000g		
	Refus (g)	Refus (%)	Refus cumulé	Refus (g)	Refus (%)	Refus cumulé
1000	45	4,5	4,5	7	0,7	0,7
800	35	3,5	8	39	3,9	4,6
500	149	14,9	22,9	197	19,7	24,3
400	90	9	31,9	99	9,9	34,2
315	101	10,1	42	101	10,1	44,3
200	253	25,3	67,3	271	27,1	71,4
149	133	13,3	80,6	131	13,1	84,5
100	124	12,4	93	108	10,8	95,3
80	43	4,3	97,3	32	3,2	98,5
40	23	2,3	99,6	12	1,2	99,7
32	3	0,3	99,9	2	0,2	99,9
< 32	1	0,1	100	1	0,1	100

3.2 Courbes granulométriques

La figure 1 représente la courbe granulométrique cumulée des deux déchets :

La figure 2 représente la courbe granulométrique différentielle des deux déchets :

Courbe granulométrique

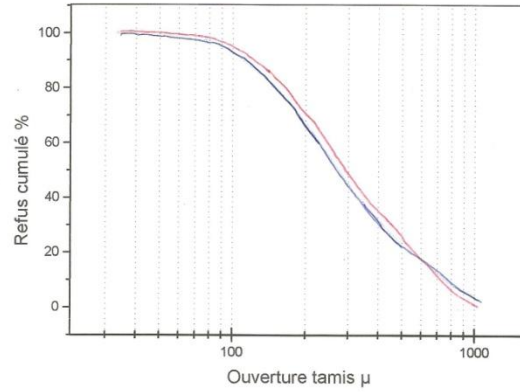


Fig 1 : courbe granulométrique cumulée

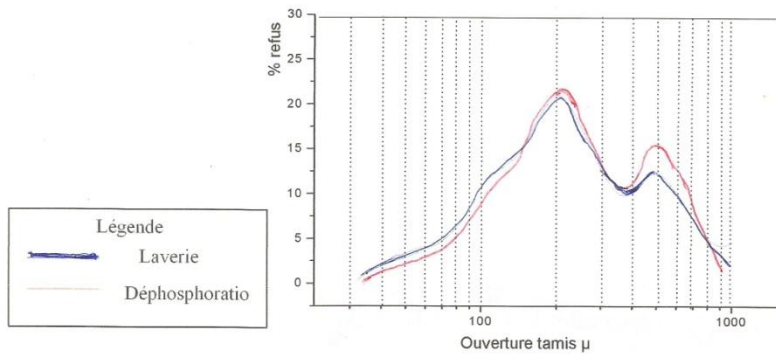


Fig 2 : Courbe granulométrique différentielle

Les deux courbes ont à peu près la même allure. La tranche granulométrique entre 100 μ et 500 μ présente un fort pourcentage (supérieur à 10%), ce qui fait que les deux types de déchets analysés ont la même répartition granulométrique. Elles permettent de faire le choix des tranches granulométriques pour l'étude ultérieure du point de vue quantitatif mais qualitativement les analyses chimiques pourraient les confirmer.

III. ANALYSES CHIMIQUES

Les analyses des trois éléments qui déterminent la qualité des déchets ont été effectuées, à savoir la teneur en Cr_2O_3 , en FeO et en P.

Le tableau 6 et 7 suivants nous donnent les résultats d'analyses par tranches granulométriques.

Tableau 6. Caractéristiques par tranches granulométriques des déchets de la laverie :

Dimension	LAVERIE			
	< 80 μ	80< ϕ <250	250< ϕ <500	>500
Cr ₂ O ₃ (%)	35,64	28,06	25,42	24,38
FeO (%)	10,62	10,62	11,69	11,41
P (ppm)	544	312	152	1120

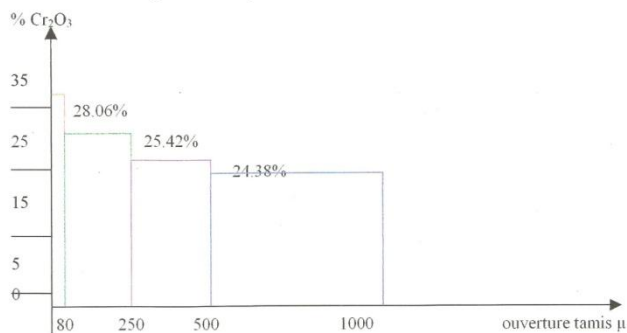
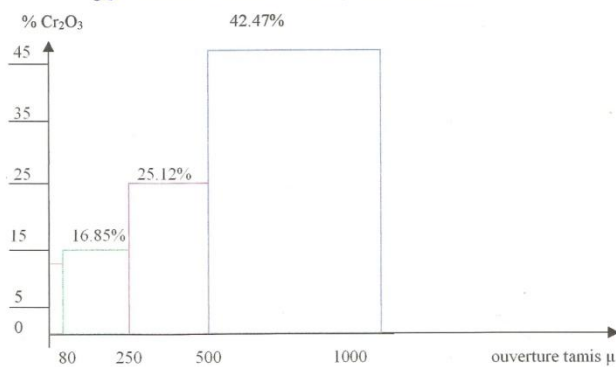
Tableau 7. Caractéristiques par tranches granulométriques des déchets de l'unité de déphosphoration :

Dimension	DÉPHOSPHORATION			
	80< μ	80< ϕ <250	250< ϕ <500	>500
Cr ₂ O ₃ (%)	14,77	16,85	25,12	42,47
FeO (%)	6,82	10,55	9,47	14,72
P (ppm)	224	>1200	304	52

Les courbes des figures 3 et 4 suivantes représentent la variation de la teneur en Cr₂O₃ dans les déchets suivant les tranches granulométriques étudiées.

Figure 3. Variation de teneur en Cr₂O₃ dans les déchets de la laverie , Figure 4. Variation de teneur en Cr₂O₃ dans les déchets de la déphosphoration

Les courbes suivantes représentent la variation de la teneur en Cr₂O₃ dans les déchets suivant les tranches granulométriques étudiées.

Fig 3 : Variation de teneur en Cr₂O₃ (déchets de laverie)Fig 4 : Variation de teneur en Cr₂O₃ (déchets de déphosphoration)

D'après les résultats, les déchets de la laverie présentent un fort pourcentage en Cr_2O_3 pour la granulométrie inférieure à 80 μ . Mais en général, cette teneur est bien répartie dans toutes les tranches analysées contrairement aux déchets de déphosphoration dans lesquels la granulométrie supérieure à 500 μ a une teneur très élevée en Cr_2O_3 .

La teneur de 42,47 % en Cr_2O_3 n'est pas négligeable. Il est donc recommandé de retraiter les déchets de déphosphoration pour une récupération maximum de Cr_2O_3 .

IV. ANALYSE GLOBALE

Avant le criblage, nous avons effectué une analyse chimique des échantillons permettant de définir les caractéristiques chimiques globales des déchets.

Le résultat de ces analyses est regroupé dans le tableau 7 suivant :

Tableau 7. Caractéristiques chimiques moyennes des déchets

ÉLÉMENTS	LAVERIE	DÉPHOSPHORATION
Cr_2O_3 (%)	21,36	24,98
FeO (%)	11,13	9,54
P (ppm)	280	520
CaO (%)	2,03	2,34
MgO (%)	15,65	7,99
Al_2O_3 (%)	25,00	21,00

Les teneurs en Al_2O_3 , MgO et P sont élevées. L'enrichissement de ces déchets va permettre de les éliminer en partie, ce qui augmentera les éléments Cr_2O_3 , FeO.

En conclusion, la caractérisation de ces déchets nous a permis de proposer deux méthodes d'enrichissement. D'après le tableau 3 (page 2), l'on observe que seulement deux composants ont une densité supérieure à 4 qui sont la chromite et la monazite, ce qui permettrait de séparer l'apatite, la silice, les silicates et le fluosilicates. Étant donné que les rejets sont déjà refusés par les tables de traitement gravimétrique, la méthode de séparation liqueuse dense reste la seule méthode envisageable. Cependant la dimension des particules traitées sont variables selon les appareils et peuvent varier de 10 mm à 200 mm, aussi la granulométrie des déchets à traiter ne permet pas d'appliquer cette méthode. Seuls les cyclones DSM peuvent travailler sur des particules fines de dimension égale à 0,25 mm. On pourrait proposer la méthode de séparation par flottation qui fera l'objet d'un article séparé de celui-ci.

En définitif, nous recommandons donc la méthode basée sur les caractères magnétiques des minerais en présence et nous préconisons le traitement des deux déchets par séparateur magnétique à haute intensité (SMHI).

V. TRAITEMENT DES DÉCHETS AU SÉPARATEUR MAGNÉTIQUE [3], [8]

Voici un tableau indiquant la susceptibilité magnétique des quelques minéraux dans les déchets Tableau 8. Susceptibilité magnétique des minéraux dans les déchets.

MINERAL	SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE 10^{-6} CGS
Quartz	0
Mica	40 – 50
Apatite	4
Talc	28
Monazite	14
Feldspath	5
Calcite	0 - 3

Remarque :

La chromite a une susceptibilité magnétique très variable, en fonction de sa composition. Pour une composition voisine de (MgO, Cr₂O₃), sa susceptibilité magnétique est de 0 tandis qu'elle devient très élevée pour certaines chromites ferriques par exemple. Les minéraux de susceptibilité de 15 à 600 10⁻⁶ CGS correspondent aux minéraux faiblement magnétiques. Les minéraux de susceptibilité inférieure à 15 10⁻⁶ CGS sont les minéraux non magnétiques.

La séparation magnétique basse intensité permet de traiter tous les produits qui ont une forte susceptibilité magnétique. Cette technique peut être utilisée dans de larges domaines tels que l'enrichissement des minerais, le traitement des déchets industriels ou des ordures ménagères, dans l'industrie automobile, l'industrie de houille, etc. Les produits à faible susceptibilité magnétique (Chromite, grenat, serpentine et autres minéraux lourds paramagnétiques) sont quant à eux traités en haute intensité.

Le séparateur magnétique utilisé est de marque Soviétique, sortie d'usine 1982 de type 138 t.00.000.01.TO, dont les caractéristiques techniques sont indiquées dans le tableau 9 suivant:

Tableau 9. Fiche Technique du Séparateur utilisé pour les essais.

DÉSIGNATION DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES ET DIMENSIONS	Unité	Valeur
- Diamètre maximum du Rotor	mm	100
- Vitesse de rotation du Rotor	tr/mn	55 – 60
- Longueur en service du rotor	mm	80
- Grosseur maximum du matériau séparé	mm	2
- Intensité minimum du champs magnétique sur la dent		
Rotor à un jeu de 3,2 mm :		
A un courant de 3,5 A	kA / m	755
A un courant de 5,5 A	kA / m	835
A un courant de 7,5 A	kA / m	920
- Puissance nominale du moteur	kW	0,25
- Côte d'encombrement :		
Longueur	mm	970
Largeur	mm	450
Hauteur	mm	535
- Masse sans redresseur	kg	175

voici la photo du séparateur magnétique utilisé :



Photos 1 : séparateur magnétique

VI. LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX.

Les deux paramètres qui conditionnent les résultats de traitement sont :

- L'intensité du courant utilisé,
- et le réglage de l'entrefer.

Suite aux essais de mise au point des différents paramètres, le réglage de l'entrefer est fixé à 3 mm. La méthode de traitements en cascade de passé-refus a été appliquée. Cette méthode consiste à traiter les différentes stades de refus à différentes intensités de courant qui sont fixées successivement à 1 – 2,5 – 3,5 – 5,5 et 7,5 A. Les refus de la précédente étape deviennent l'alimentation de l'étape suivante. C'est une méthode pratique de tester l'efficacité des paramètres qui sont des variables dans les essais.

a) Les résultats des essais

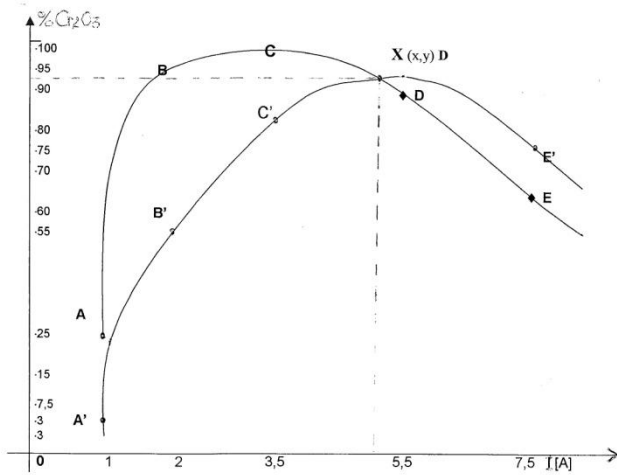
Les résultats des essais sont regroupés dans le tableau 9 ci-après :

Tableau 9. Récapitulation des résultats

Intensité du courant (A)	Déchets déphosphoration				Déchets laverie			
	Alimentation (g)	Passé (g)	Teneur en Cr_2O_3	Refus (g)	Alimentation (g)	Passé (g)	Teneur en Cr_2O_3	Refus (g)
1	250,0	0,3	25	248,7	250,0	6,2	3	243,8
2,5	248,7	11,5	95	237,2	243,8	7,0	55	237,8
3,5	237,2	68,2	95	169,0	237,8	44,0	80	193,8
5,5	169,0	39,4	75	126,6	193,8	18,1	90	175,7
7,5	126,0	13,6	60	117,0	175,7	40,4	70	134,3
+7,5		117,0	6			134,3	15	

La teneur maximum en chromite est obtenue pour une intensité comprise entre 2,5 A et 3,5 A pour les déchets de déphosphoration, tandis que celle des déchets de la laverie, elle se situe entre 3,5 A et 5,5 A. Les courbes du pourcentage en Cr_2O_3 en fonction de l'intensité de courant sont présentées dans le tableau 5 à la page 3.

Figure 5. Teneur en chrome en fonction des intensités de courant



b) Interprétation de l'allure des courbes

En traçant la courbe de teneur en Cr_2O_3 en fonction de l'intensité de courant, on observe des courbes paraboliques de même allures ascendantes puis descendantes avec un niveau supérieur pour les deux déchets. En considérant un point optimum pour les deux courbes, celui-ci pourrait être le point de rencontre des deux courbes de coordonnées (93% en teneur en chrome, 5 A).

On peut donc conclure que si l'on traite séparément les deux déchets, l'intensité pour les déchets de déphosphoration serait entre 2,5 et 3,5 A, tandis que celle des déchets de la laverie serait entre 3,5 et 5,5 A. On pourrait affiner la valeur optimum de ces intensités par des expérimentations complémentaires.

c) conception d'un séparateur magnétique a haute intensité a sec [6], [4], [5], [7], [12].

Le travail entrepris pour l'étude d'un séparateur magnétique à haute intensité (SMHI) par voie sèche nous a permis d'obtenir les données des explications techniques, des calculs de construction, d'un dessin technique avec une quotation détaillée de tous les éléments constitutifs de l'appareil ainsi que leur fonctionnement et leur réalisation.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans cet article, nous avons essayé de démontrer que la séparation magnétique à haute intensité (SMHI) à sec serait un procédé adéquat pour l'enrichissement des déchets issus des traitements gravimétriques et de l'usine de déphosphoration dans le traitement des minerais de chrome. Toutefois, les essais n'ont été faits qu'au niveau de laboratoire et des études de faisabilité beaucoup plus approfondies méritent d'être entreprises avant la mise œuvre du projet de plus grande taille (10 t / h par exemple), avec deux ou trois installations en parallèle. Le SMHI que nous avons conçu pourrait traiter les deux déchets avec un maximum de rendement (> 95 %) dans la production de chromite valorisable, mais une mise à jour d'étude de faisabilité serait souhaitable avant que quiconque souhaitera se lancer dans son utilisation.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1] ANDRIAMAHANDRISOA L. B., 2001, Analyse des problèmes hydrogéotechnique d'une exploitation minière à ciel ouvert. Application au cas des mines de chromite de la Kraoma.
- [2] BAUD P., 1951, Traité de chrome minéral industriel, Tome 2, Edition Masson, Paris.
- [3] BLAZY P., 1970, la valorisation des minerais, Paris.
- [4] BOURGOIS R., 1992, Memo Tech Électrotechnique, Collection A. CLAPIEZ, Edition Casteilla.
- [5] ELOY C., 1981, Conception et construction mécanique, Collection Aide-mémoire, DUNOD.
- [6] FOUILLE A., 1990, Électrotechnique à l'usage des ingénieurs – Électromagnétisme et courant alternatif, Collection DUNOD, Tom I.
- [7] HULIN M., MAURY J.P., 1996, les bases de l'Électromagnétisme, Collection DUNOD.
- [8] JAVELLE P., 1990, Méthodes de séparation de phases minérales en laboratoire, Edition BRGM, France.
- [9] KLÖCKNER Anlagen, 1982, Analyse diagnostique de l'exploitation des chromites, Volume 1.
- [10] MAMPIHAO, 2003, Synthèse sur la chromite de Madagascar, Kraoma.
- [11] MASTILLON D., 1986, Compte rendu de la mission de l'expertise de la chromite de la société Kraoma
- [12] MERAT R., MOREAU R., ALLAY L., DUBOIS J.P., 1992, Transformateurs, Moteurs électriques, édition NATHAN.
- [13] RATEFIARISON R., 1986, Étude d'extraction de composés de chrome à partir de la chromite, Mémoire d'ingénieur, ESPA.
- [14] SOFREMINES, 1995, Étude de mise en exploitation du gisement de Bemanevika, Rapport interne Kraoma.
- [12] MERAT R., MOREAU R., ALLAY L., DUBOIS J.P., 1992, Transformateurs, Moteurs électriques, Edition NATHAN.
- [15] LENORMAN G. MIGNEE R., 1969, Construction mécanique, Éléments de Technologie, Tome I, Edition FOUCHER.

I-3-2. Installation de traitement

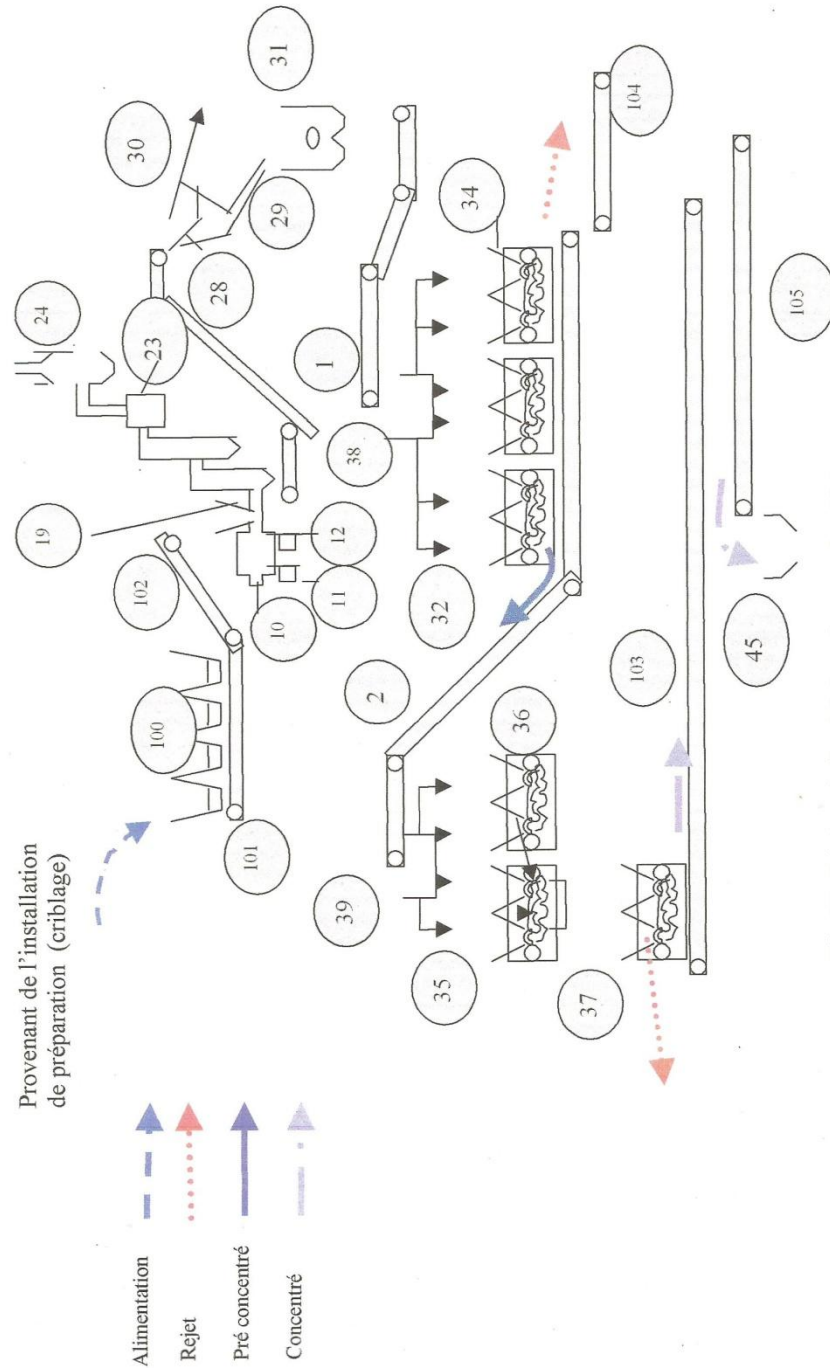


Fig 17: Schéma de l'unité de traitement des déchets

Position	Spécification	Nombre	Puissance moteur (kW)
- 101	Transporteur à courroies, l = 0,5 ; L = 13,0 m	1	2,2
- 102	Transporteur à chevrons, l = 0,5 ; L = 24,5 m	1	2,2
- 103	Transporteur à courroies, l = 0,5 ; L = 7,4 m	1	1,5
- 104	Transporteur à courroies, l = 0,5 ; L = 11,5 m	1	1,5
- 105	Transporteur à courroies, l = 0,5 ; L = 26,0 m	1	1,5
- 11	Ventilateur de combustion	1	7,5
- 12	Ventilateur de dilution	1	18,5
- 23	Ventilateur principal	1	55
- 3	Élévateur à godet, l = 0,5 ; L = 26,0 m	1	2,2
- 29	Élévateur à godet, l = 0,5 ; L = 26,0 m	1	2,2
- 2	Élévateur à godet, l = 0,5 ; L = 26,0 m	1	2,2
- 10	Bruleur modulant 3500 thermies / heure	1	0,55
- 19	Sécheur multitube, diamètre 617	1	15
- 100	Extracteur à débit variable	5	5 x 1,1
- 24	Dépoussiéreur récupérateur humide	1	
- 28	Trémie de stockage intermédiaire/répartiteur statique	1/3	
- 45	Silo de stockage de 150 m ³	1	