



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi - Tébessa
معهد المناجم
Institut des mines
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
Département des mines et de la géotechnologie



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master académique

Filière : Génie minier

Option : Minéralurgie

Détermination de l'indice de broyabilité pour les différents concentrés de phosphate Cas de " Djebel-Onk"

Présenté et soutenu par

SALHI SIF Eddine

Devant le jury:

	Grade	Etablissement
Président :	LARABA Mohammed	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur :	BOUZENZANA Abdellali	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Examineurs :	AMIRECH Abdelkrim	Université Larbi Tebessi - Tébessa

Promotion 2020-2021

Année universitaire : 2020-2021

Tébessa le :

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants : **SALHI Sif Eddine**

Niveau : **2^{ème} année Master** Option : Minéralurgie

Thème : Détermination de l'indice de broyabilité pour les différents concentrés de phosphate cas de " Djebel-Onk"

Nom et prénom de l'encadreur : **BOUZENZANA Abdellali**

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Introduction générale	
CHAPTRE I : Généralités sur les phosphates.	
CHAPITRE II : Traitement du phosphate " D-O"	
CHAPITRE III : Partie expérimentale	
Conclusion générale	

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي : جامعة العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) صالح سيف الدين الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : طالب

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 13 73 و الصادرة بتاريخ 2018-12-25

المسجل بمعهد المناجم قسم دراسة المعادن

و المكلف بانجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها :

Détermination de l'indice de Broyabilité pour
les différents concentrés de phosphate cas de Jebel Onk

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية

المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه

التاريخ: 14 جوان 2021

إمضاء المعني





14 جوان 2021



إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،

- بموجب القرار الوزاري رقم 318 المؤرخ في 05 ماي 2021 المتضمن تعيين السيد "قواسمية عبد الكريم" مديرا لجامعة العربي التبسي - تبسة،

- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم : 12-363 مؤرخ في 8 أكتوبر 2012، يعدل ويتم المرسوم التنفيذي رقم 09-08 المؤرخ في : 04 جانفي 2009 والمتضمن إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة،

- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه،

- وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدد كفاءات إعداد ومناقشة مذكرة الماستر، لاسيما المادتان 10 و 11 منه،

- وبموجب القرار رقم 357 المؤرخ في 15 جوان 2020، المعدل للملحق القرار رقم 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات التسجيل الوطني بعنوان السنة الجامعية 2015-2016 بجامعة تبسة، اختصاص دراسة المعادن.

- وبعد الاطلاع على محضر المجلس العلمي لمعهد المناجم المؤرخ في 2021/05/09،

يقرر ما يأتي:

المادة الأولى: تُعين بموجب هذا المقرر لجنة مناقشة مذكرة الماستر المحضرة من طرف الطالب (ة):

سيف الدين صالح، المولود (ة) بتاريخ 1997/12/18 بـبريكة - باتنة،

والموسومة بـ

Détermination de l'indice de broyabilité pour les différents concentrés de phosphate cas de "Djebel-Onk".

والمسجل بمعهد المناجم

المادة 2: تتشكل اللجنة المشار إليها في المادة الأولى من الأعضاء الآتي ذكرهم:

رقم	الاسم واللقب	الرتبة	مؤسسة الانتماء	الصفة
1	عبد العالي بوزنزانة	أستاذ محاضر-أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	مؤطرا
2	محمد لعراية	أستاذ مساعد-أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	رئيسا
3	عبد الكريم عميرش	أستاذ محاضر-ب	جامعة العربي التبسي - تبسة	مناقشا

المادة 3: يكلف رئيس قسم المناجم والجيوتكنولوجيا بتنفيذ هذا المقرر الذي يُسلم نسخة عنه إلى كل من الطالب المعني والمشرف على المذكرة وأعضاء لجنة المناقشة فور توقيعه.

المادة 4: تحفظ نسخة عن هذا المقرر في الملف البيداغوجي للطلاب المعني، وينشر في النشرة الرسمية لجامعة العربي التبسي.

حُرر ب تبسة، في: 2021/05/19

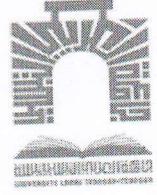
مدير معهد المناجم بالنيابة
عن المدير، ربيع منة

المدير المساعد للمناجم





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة العربي التبسي - تبسة



مقرر رقم: 127 مؤرخ في: 2021/05/20

يتضمن الترخيص بمناقشة مذكرة الماستر

إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،

- بموجب القرار الوزاري رقم 318 و المؤرخ في 05 ماي 2021 المتضمن تعيين السيد "قواسمية عبد الكريم" مديرا لجامعة العربي التبسي - تبسة،

- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم : 12-363 مؤرخ في 8 أكتوبر 2012، يعدل ويتم المرسوم التنفيذي رقم 09 - 08 المؤرخ في : 04 جانفي 2009 و المتضمن إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة،

- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدّد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه، وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدّد كفاءات إعداد ومناقشة مذكرة الماستر، لاسيما المادة 7 منه،

- وبموجب القرار رقم 357 المؤرخ في 15 جوان 2020، المعدل للملحق القرار رقم 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات التسجيل الوطني بعنوان السنة الجامعية 2015-2016 بجامعة تبسة، اختصاص دراسة المعادن.

- وبموجب المقرر رقم 075 المؤرخ في 2021/05/19 والمتضمن تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر، وبعد الاطلاع على تقرير لجنة مناقشة مذكرة الماستر المؤرخ في

يقرّر ما يأتي:

المادة الأولى: يُرخصُ للطالب(ة) سيف الدين صالح، المولود (ة) بتاريخ 1997/12/18 بـ بركة - باتنة ، بمناقشة مذكرة الماستر والموسومة بـ

Détermination de l'indice de broyabilité pour les différents concentrés de phosphate cas de "Djebel-Onk".

المادة 2: يكلف رئيس قسم المناجم والجيوتكنولوجيا بتنفيذ هذا المقرر الذي يسلم نسخة عنه إلى الطالب المعني بالمناقشة وأعضاء لجنة المناقشة فور توقيعه، وبضمن نشره عبر فضاءات المؤسسة المادية والرقمية.

المادة 3: تُحفظ نسخة عن هذا المقرر ضمن الملفّ البيداغوجي للطالب المعني وينشر في النشرة الرسمية لجامعة العربي التبسي.

حرّر ب تبسة، في: 2021/05/20

مدير معهد المناجم بالنيابة

عن الطابور، وينفويض منه
مدير معهد المناجم



Remerciements

Au premier lieu nous tenons à remercier le bon Dieu le tout puissant qui nous à donné le courage de mener à terme ce modeste travail

Nous tenons également à exprimer nous remerciements les plus sincères et les plus profonds à

Notre promotrice Mr. BOUZENZANA Abdellali, pour son encadrement, et sa disponibilité, qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde Reconnaissance.

Nous tenons aussi à exprimer notre gratitude à l'ensemble des membres de jury Mr.M.LARABA et Mr.A.AMIRECH, qui nous ont fait l'honneur, en acceptant d'examiner ce travail.

En fin, nous tenons à remercier toutes les personnes ayant Contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci

Dédicaces

Avec l'aide de Dieu le tout puissant,

JE DEDIE CE MODESTE TRAVAIL :

À mon père, mon ange gardien, qui sans lui je ne puisse

Ni vivre ni arrivé à ce que je suis.

À ma mère, la lumière de ma vie,

J'espère qu'un jour mon bon Dieu me donne l'occasion de

les honorer et rendre ce qu'ils méritent.

A mes chers frères et sœur et amdjed et sami et 4-Ri.Na et

Da9a et groupe Al-AssiL et samo bernina.

A mes grands-parents. A mes oncles et tantes, cousins et

cousines.

A tous mes ami(e)s.

Résumé :

Le broyage est une opération de préparation indispensable que l'on fait subir aux phosphates durant leur traitement et surtout leur transformation. C'est une opération très coûteuse à cause de sa haute consommation d'énergie qui est caractérisée par les indices de broyabilité "Indice de Hardgrove et de Bond "

Le but de ce travail est de caractériser les différents types de concentrés de phosphates de Djebel-Onk obtenus par des procédés de concentrations différentes et de déterminer leurs comportements lors du broyage (calcul des indices de Hardgrove et de Bond) puis de les comparer avec les autres phosphates à travers le monde

Mots clés : Indices Broyabilité, concentrés phosphate, Indices de Bond et d'Hardgrove.

Abstract:

Grinding is a process essential for the preparation, is subjected to phosphate during treatment and especially their transformation. This is a very expensive operation because of its high energy consumption which is characterized by the grindability index « index Hardgrove and Bond »

The purpose of this study was to characterize different types of concentrated phosphate and determine their behavior during grinding (calculating indices Hardgrove and Bond) and compare them with other phosphates across the world

Keywords: Indexes Grindability concentrated phosphate, Hardgrove and Bond Indexes

الخلاصة:

الطحن عملية ضرورية للتحضير ، حيث يتعرض للفوسفات أثناء المعالجة وتحويله بشكل خاص. هذه عملية مكلفة للغاية بسبب استهلاكها العالي للطاقة والتي تتميز بمؤشر السحق "مؤشر هارد جروف و مؤشر بوند" كان الغرض من هذه الدراسة هو توصيف أنواع مختلفة من الفوسفات المركز وتحديد سلوكها أثناء السحق (حساب مؤشر هارد جروف و مؤشر بوند) ومقارنتها بمؤشرات الفوسفات الأخرى في جميع أنحاء العالم.

الكلمات المفتاحية: الفوسفات المركز ، القابلية للطحن، مؤشر هارد جروف و مؤشر بوند.

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

N°	Nom des figures	Page
01	Carte géologique des gisements de phosphate actuellement en exploitation au monde	12
02	Production mondiales par pays de phosphate naturel en 2018	15
03	Réserves mondiales de phosphate en 2018	15
04	Schéma technologique de la préparation mécanique	22
05	Schéma Technologique du débourbage	23
06	débit du malaxeur	24
07	l'installation des grilles	25
08	l'installation des hydro-cyclones	26
09	Les composants des hydro-cyclones	27
10	les forces des hydro-cyclones	28
11	Schéma d'un épaisseur.	29
12	l'installation des filtres à bandes	30
13	Schéma technologique atelier de séchage Fours horizontaux rotatifs	31
14	Schéma Technologique de dépoussiérage	33
15	Schéma préparation des échantillons pour analyse chimique	40
16	Photo d'un Diviseur manuel au Labo de Bir El Ater	42
17	Schéma préparation des échantillons pour analyse granulométrique	43
18	Photo d'un Tamiseuse électrique au Labo de Bir El Ater	44
19	Photo d'un Broyeur à mortier Pulverisette 2 FRITSCH au labo de Bir El Ater	51
20	Classement l'indice de broyabilité pour les différents concentrés de phosphate Cas de " D-O"	59
21	Représente le graphique indices des phosphates à travers le monde	60
22	Schéma du Broyage utilisé dans le logiciel MODSIM (Avant simulation)	62
23	Principaux Paramètres du minerai dans le logiciel MODSIM	63
24	Paramètres d'alimentation dans le logiciel MODSIM	63
25	Paramètres du broyeur model GMIL dans le logiciel MODSIM	64
26	Paramètres du hydro-cyclone model CYCL dans le logiciel MODSIM	65
27	Le format du fichier de sortie pour le travail dans le logiciel MODSIM	65
28	Schéma du Broyage utilisé dans le logiciel MODSIM (après simulation)	66
29	Les Courbes de distribution granulométrique (1- alimentation. 3- sortir mixer. 4- sortir broyeur. 5- surverse. 6- souverse.)	66
30	Rapport de fichier de consommation d'énergie ($t_B=10\text{min}$)	67
30	Rapport de fichier de consommation d'énergie ($t_B=60\text{min}$)	68

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

N°	Noms de tableaux	Page
01	Différents minérale de phosphate	05
02	Production mondiale de l'acide phosphorique en 2014	08
03	Production et réserve mondiales par pays de phosphate naturel en 2018	14
04	Répartition mensuelle des objectifs 2021	19
05	Composition minéralogiques du minerai de phosphate de Djebel Onk	20
06	La composition chimique des différents concentrés	34
07	Répartition mensuelle produit atelier séchage B1	35
08	Répartition mensuelle produit atelier séchage (fours rotatifs)	36
09	Répartition mensuelle produit atelier dépoussiérage	37
10	Différents concentre	45
11	La Composition chimique des différents échantillons.	45
12	Composition granulométrique des concentrés avant le broyage (91 63/65% TPL)	46
13	Composition granulométrique des concentrés avant le broyage (FR63/65 % TPL)	46
14	Composition granulométrique des concentrés avant le broyage (B1 66/68 % TPL)	47
15	Composition granulométrique des concentrés avant le broyage (CAL69/72 % TPL)	47
16	Indices de corrections	48
17	Indices d'Hardgrove suivant le poids du passant	49
18	Composition granulométrique des concentrés avant le broyage (moyen de quartage)	52
19	Composition granulométrique des concentrés après le broyage	54
20	Poids du passant à la maille (0.074 mm et 0.1mm)	55
21	Récapitulatif des résultats	59
22	Classement l'indice de broyabilité pour les différents concentrés de phosphate Cas de " D-O"	59
23	Indices des phosphates à travers le monde	60
24	Indice énergétique de Bond de divers matériaux	61
25	Diverses expériences sur les phosphates pour calculer l'indice de broyabilité	61
26	Prix d'énergie électrique pour les différents concentrés	69
27	prix déferant concentre de D-O	70
28	Prix total pour alimenter le broyeur 30 jour	70

Liste des graphes

Liste des graphes

N°	Noms des graphes	Page
01	Courbe d'analyse granulométrique des concentrés avant le broyage	53
02	Courbe d'analyse granulométrique des concentrés après le broyage	55

Sommaire

Sommaire

Introduction	1
--------------------	---

CHAPTRE I

Généralités sur les phosphates.

A. Généralités	2
1) Définition.....	2
2) Formation du phosphate	3
3) Origine et formation des gisements du phosphate	3
a) Gisement d'origine ignée	3
b) Gisement de type « guano ».....	3
c) Gisement sous-marins	4
d) Gisement sédimentaires	4
1) Différents minérale du phosphate.....	4
2) Les familles de phosphate	5
B. Domaines d'Utilisation des Phosphates.....	6
1) L'alimentation pour bétail	7
2) Les engrais phosphatés simples	7
3) l'industrie chimique.....	8
4) L'acide phosphorique	8
C. Production et réserve	8
1) Production et réserve	8
2) Phosphate dans le monde.....	9
a) Gisements d'Europe.....	9
b) Gisements d'Amérique	9
c) Gisements d'Asie	9
d) Gisements d'Afrique	9
D. Statistique.....	13
1) Les tendances futuribles du phosphate	13

Sommaire

2) Statistique Production et réserve mondiales par pays de phosphate	14
Conclusion.....	16

CHAPITRE II

Traitement du phosphate " Djebel-Onk"

A. Méthodes d'exploitations à "D-O"	17
1) Introduction	17
2) Situation géotechnique et minière de la carrière (paroi nord)	17
3) Stabilisation de la zone à risque	17
4) Plan d'exploitation 2021	18
B. Méthodes de traitement à "D-O"	20
1) Introduction	20
2) Compositions minéralogiques de minerai phosphaté de Djebel Onk	20
3) Traitement de phosphate :.....	21
a) préparation mécanique	21
b) Traitement par voie humide	22
c) Traitement par voie sèche (Dépoussiérage)	32
C. Types de concentrés	34
1) Les types de concentrés de phosphate cas de Djebel Onk.....	34
D. Production.....	35
1) Répartition mensuelle produit atelier débouillage	35
2) Répartition mensuelle produit atelier dépoussiérage	37
E. Utilisateurs du phosphate de D-O.....	38
1) Utilisation du phosphate	38
2) Utilisateurs du phosphate	38
Conclusion.....	39

Sommaire

CHAPITRE III

Partie expérimentale

A. La Composition chimique des différents échantillons.	40
1) Plan d'analyse des échantillons.	40
2) La Composition chimique des différents échantillons.	41
B. L'Analyse granulométrique.	42
1) Homogénéisation	42
2) Diviseur manuel.....	42
3) Plan d'analyse granulométrique.	43
4) Tamisage.....	44
5) L'Analyse granulométrique avant le broyage	45
C. Indices de broyabilité.....	47
1) Lois énergétiques du broyage	47
2) Indice énergétique de Bond	47
D. Broyage des échantillons.....	50
1) Le broyage.	50
2) Broyeur à mortier Pulverisette 2 FRITSCH	51
a) Fonctionnement.....	51
b) Broyeur utilisé.....	51
3) L'Analyse granulométrique après le broyage.....	52
4) Poids du passant à la maille	55
E. Calcul de l'indice de broyabilité.....	56
1) Calcul de l'indice de broyabilité du produit 91.63/65 TPL%.	56
2) Calcul de l'indice de broyabilité du produit FR 63/65 TPL%.	56
3) Calcul de l'indice de broyabilité du produit B1 66/68 TPL %.....	57
4) Calcul de l'indice de broyabilité de la proudiut CAL 66/68 TPL %.....	58

Sommaire

F. Présentation des résultats des mesures.....	59
1) Récapitulatif des tous les résultats.....	59
2) Récapitulatif W_i (corrigé).....	59
3) Indices de bond des phosphates à travers le monde	60
4) Indice énergétique de Bond de divers matériaux.....	61
5) Diverses expériences sur les phosphates pour calculer l'indice de broyabilité.....	61
6) Simuler les résultats.....	62
a) La production d'acide phosphorique par le biais de ce procédé comprend six étapes successives	62
b) Un exemple d'importance l'indice broyabilité dans l'usine	62
c) Calculez l'énergie consommée pour Quatre Concentré ($t_B=10\text{min}$)	67
d) Calculez l'énergie consommée pour Quatre Concentré ($t_B=60\text{min}$)	68
7) Rapporte économique	69
a) Prix d'énergie électrique	69
b) Prix déférant types de concentre	70
c) Prix total pour alimenter le broyeur 30 jour.....	70
Conclusion.....	71
Conclusion générale	72

Introduction

générale

Introduction générale

Introduction

L'Algérie est un pays riche en divers substance utile dont la majorité n'est pas encore mise en valeur, le sol Algérien contient des réserves minéraux, fer, phosphate, plomb zinc cuivre baryte argiles pouzzolane marbre et autres qualité en gypse et calcaire.

De nos jours, ce sont des centaines de sociétés qui évoluent dans le domaine de l'industrie minière. En Algérie, dans la région du Djebel Onk (Tébessa), le minerai de phosphate est exploité par la Société des Mines de Phosphates (SOMIPHOS), filiale de la nationale FERPHOS group dont le Siège social est à Annaba. En 2021, la société des Mines de phosphate (SOMIPHOS) de Djebel Onk a exporté environ 1,6 million de tonnes de Phosphate ; elle vise dans les années qui suivent, augmenter d'avantage sa production. Une telle vision ne peut être possible que si ladite société a à sa disposition une organisation forte sur laquelle peut-elle compter pour une gestion efficace de ses activités.

Cet article est une proposition de projet d'Oued Keberitet une entreprise ASMIDAL pour nous permettre de choisir le phosphate le moins énergivore pour la fabrication de l'acide phosphorique.

Le procédé de broyage est le premier et indispensable à la fabrication de l'acide phosphorique, et connaissant l'énergie consommée par l'installation de broyage, il faut calculer l'indice de broyage.

Après cette introduction sur les motivations de ce travail, il convient que le présent mémoire est structuré de la façon suivante :

Chapitre I : Généralités sur les phosphates du monde

Chapitre II : Traitement du phosphate Djebel Onk, méthodes d'exploitations et méthodes de traitement, types de concentrés, production et utilisateurs du phosphate Djebel Onk

Chapitre III : Dans ce chapitre, nous présentons les résultats du laboratoire et calculons l'indice de broyabilité pour les différents concentrés de phosphate (Produit dépoussiérée **TPL 63/65%**, Produit débourbé séché par Four Rotative **TPL 63/65 %**, Produit débourbé **TPL 66/68 %**, Produit calciné **TPL 69/72 %**).

Chapitre I :
Généralités
sur le
phosphate

I. Généralités sur le phosphate

A- Généralités

1) Définition

Le phosphate est recherché pour le phosphore qu'il contient. Désigné en chimie par la lettre P. c'est un élément vital présent dans tous les organismes vivants, il n'existe pas d'espèces qui n'utilisent sa chimie (enzyme, transport d'énergie, processus biologiques, aliment etc.). Le corps humain contient environ 1% massique de cet élément, présent à plus de 85% dans les os et les dents sous formes de phosphate de calcium [1].

Le phosphore (P) (du grec Phos: lumière et Phoros : qui apporte) est un élément qui est largement distribué dans la nature. Il est considéré, avec l'azote (N) et le potassium (K), comme un constituant fondamental de la vie des plantes et des animaux. Le phosphore a un rôle dans une série de fonctions du métabolisme de la plante et il est l'un des éléments nutritifs essentiels nécessaires pour la croissance et le développement des végétaux [2].

Le phosphore a été découvert en 1669 dans l'urine humaine par l'Arabe Henning Brand, un alchimiste allemand également à la recherche de la pierre philosophale. Il a isolé cet élément en traitant une grande quantité d'urine par évaporations et distillations successives. Enfin par chauffage prolongé, il a constaté la présence d'une matière solide déposée sur les parois de ses cornues. Ce dépôt présentait la caractéristique d'émettre une lumière blanchâtre dans le noir en présence d'air (d'où le nom de phosphore : du grec phos, lumière et phoros, celui qui porte). Vers 1690, l'anglais Robert Boyle a amélioré le procédé. Il est maintenant extrait de roches ayant un fort contenu en phosphates. Ces roches existent partout dans le monde et le phosphore représente quantitativement le onzième élément parmi les constituants de la croûte terrestre [3].

Le phosphore provient de l'altération des roches, il est présent en quantités variables dans les minéraux silicatés, et surtout il entre dans la composition de près de 200 minéraux phosphatés, le principal minéral des sols est l'apatite. Il n'a été identifié dans l'apatite qu'en 1779 par Torben Bergman et Joseph Louis Proust. [3].

Dans la classification minéralogique de Palache, Berman et Frondel (1951) ; les phosphates, Les arsenates et les vanadates forment un ensemble conséquent de minéraux. Abalain et al (1968), ainsi que Palache et al (1951) ont recensé plus de 2000 noms de minéraux phosphatés.

De nos jours, cependant, à peine 300 espèces minérales distinctes sont considérées.

Pour avoir une idée de la complexité des minéraux phosphatés, il convient de rappeler que :

- le radical PO_4 peut se combiner avec plus de 30 éléments.
- Il peut se produire un grand nombre de substitutions entre ions similaires.

- Pratiquement tous les éléments (quelquefois en traces) peuvent se retrouver dans ces minéraux.
- Les substitutions P-As-P entre phosphates et arsenates (avec formation de solutions solides complètes) sont très communes.
- À des températures élevées, des substitutions entre phosphates et silicates restent Possibles [6].

2) Formation du phosphate

Après le mort des végétaux et des animaux nouvelles solutions de phosphates sont formées, et elles peuvent soit précipiter directement, soit plus souvent épigénèse tout ou partie des sédiments. Les roches phosphatées se forment sur la plate-forme continentale, ou à son rebord (entre 50 et 200 m) ; elles contiennent souvent de la glauconie et des éléments détritiques (quartz par exemple), ou encore des hydrocarbures.

Les phosphates se trouvent également dans de nombreuses roches, par exemple ; Craie phosphatée (à grains de phosphates), minerai de fer oolitique à ciment phosphaté...etc. [6]

3) Origine et formation des gisements du phosphate [7]

a) Gisement d'origine ignée

Ces gisement, associés à carbonatites, à roches alcalines telles que les syénites néohelléniques ou encore à des pyroxénites ou des pegmatites, sont assez largement distribuées en Amérique du Nord (Canada notamment), en Amérique de Sud (Brésil), en Afrique du sud et en Afrique orientale, en Inde et en URSS. Les plus importants sont ceux de la péninsule de Kola en URSS où l'apatite est associée à des syénites néphéliniques, et de PALABORA en Afrique du sud (Transvaal) où l'apatite est associée à un contexte à carbonatite et pyroxénite à serpentine. Les réserves de cette dernière région sont évaluées à 1.4 milliard de tonnes de concentrés à 35.7% P₂O₅. Celles des gisements de KOLA paraissent être au moins du même ordre de grandeur. [13]

b) Gisement de type « guano »

Ces gisements, qui sont issus de la réaction de déjections d'oiseaux et dans certains cas de chauve-souris sur les roches réceptrices, ont une importance économique loin d'être négligeable. L'Ile Christmas présente ainsi des réserves supérieures à 200 millions de tonnes d'un minerai titrant en place 50 à 80% TPL (21.8 à 36.6% P₂O₅).

Les gisements issus du guano n'ont actuellement d'intérêt que dans la mesure où la roche réceptrice est calcaire ; dans les autres cas les minéraux formés sont des phosphates de fer ou

d'alumine peu exploitables actuellement. [13]

c) Gisement sous-marins

Les nodules phosphatés sont assez largement distribués au fond des mers actuelles, essentiellement sur le plateau continental. Les accumulations principales se situent le long des côtes occidentales des continents africain (Afrique de sud, Maroc...) et américain (Californie, Chili...) et également au large du Brésil et de la Ebride. Les réserves ont été évaluées grossièrement à 3.10^{10} t. de minerai à teneur commerciale (de l'ordre de $30\%P_2O_5$). Toutefois aucune des études économique tentées n'a encore conduit à des résultats favorables. [13]

d) Gisement sédimentaires

Les phosphates sédimentaires présentent des aspects et des tentes très variées qui les rendent souvent difficiles à reconnaître macroscopiquement.

Ils se présentent sous forme de nodules, de grains de taille variée, de coprolithes, d'oolithes, de débris de dents ou d'os, de débris de fossiles divers plus ou moins complètement épigénies en phosphate de Ca. Dans les séries marines, les niveaux phosphatés des gisements s'associent à des niveaux calcaires plus ou moins dolomitiques dans certains cas des niveaux argileux et marneux dans lesquels la montmorillonite et l'attapulgite sont fréquentes. D'autre associations sont possibles (sables, grès, gypse...) ; leur éventail s'ouvre lorsque la teneur des niveaux phosphatés s'abaisse. la genèse des gisements sédimentaires est généralement liées à l'augmentation des teneurs en phosphate des eaux océaniques en fonction de la profondeur. [13]

4) Différents minérale du phosphate

N°	Désignation	Poids Spécifique	Dureté	Couleur	Formule Chimique
1	Xénolite	4,4-5,1	4-5	Brun, jaunâtre	YPO_4
2	Monazite	4,6-5,4	5-5,5	Brun, rouge, vert	$(Ce,La,Th)PO_4$
3	Ambylgonite	2,9-3,1	5,5-6,5	Blanc à lait	$(Li,Na)Al.(PO_4)_2(Fe,OH)$
4	Apatite	3-3,2	5	Vert, bleu, transparent	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$
5	Pyromorphite	6,5-7,1	3,5-4	Variable	$Pb_5(PO_4)_3Cl$
6	Turquoise	2,6-2,8	5-6	Bleu ciel, vert	$Cu,Al_6(PO_4)_4(OM)_85H_2O$
7	Chalcosiderite	3,25	4,5	Vert, transparent	$CuFe_6(PO_4)_4(OH)8H_2O$
8	Libethentite	3,9	4	Vert olive	PO_4OH
9	Lazulite	3,1	5-6	Bleu azure	$(Mg,Fe)Al_2(PO_4)_2(OH)_35H_2O$
10	Wavelline	2,3	3,5-4	Incolore, blanc	$Al_3(PO_4)_2(OH)_35H_2O$
11	Childrenite	3,2	5	Brun, jaune	$(Fe,Mn)Al(PO_4)(OH)2H_2O$
12	Pseudomalachite	4-4,3	4,5-5	Vert	$Cu_5(PO_4)_2(OH)4H_2O$
13	Vaniscite Strengite	2,6-2,9	3,5-4,5	Vert pale	$Al(PO_4)2H_2O,Fe(PO_4)2H_2O$
14	Lithiophilite	3,3-3,5	4-5	Gris, bleuâtre	$Li(Fe,Mn)PO_4$
15	Ludlomite	3,1-3,2	3,5	Vert	$(Fe,Mg,Mn)_3(PO_4)_24H_2O$
16	Vivanite	2,6-2,7	1,5-2	Transparent	$Fe_3(PO_4)8H_2O$

Tableau 01 : Différents minérale de phosphate [7]

5) Les familles de phosphate [8]

Les phosphates sont des composés phosphorés. Dans la nature, le phosphore (P) est généralement présent sous forme de molécules de phosphates. Parmi les phosphates présents dans l'eau, on distingue couramment :

- les ortho phosphates (H_2PO_4 , HPO_4 , PO_4), qui sont des sels minéraux de l'acide phosphorique (H_3PO_4). Cette forme, parfois notée o-P, est également appelée lors de la mesure des concentrations dans les eaux « phosphore réactif ».
- les poly phosphates (ou phosphates condensés), qui correspondent à des molécules plus complexes de phosphates minéraux. On parle également de « phosphore hydrolysable » dans l'acide.
- les phosphates organiques, qui correspondent à des molécules de phosphates associées à des molécules à bases carbonées, comme dans la matière organique vivante ou morte (animaux, végétaux, microorganismes, etc.).

Dans l'eau, les phosphates inorganiques (ortho phosphates et poly phosphates) et les phosphates organiques peuvent se retrouver sous formes dissoutes et/ou particulières (associés aux particules en suspension, de sédiment, ou de sol).

Lors de la détermination des concentrations en phosphates dans une matrice quelconque (eau, sol, aliment), suivant les cas, la teneur en phosphates est exprimée en grammes de PO_4 , de P_2O_5 ou de P par litre.

B- Domaines d'Utilisation des Phosphates

Les phosphates présentent un domaine d'utilisation très varié à l'échelle industrielle : 80 à 90% de la production est utilisée dans les engrais et dans la fabrication de l'acide phosphorique (Dumon R. 1980).

1) L'alimentation pour bétail [11]

Elle représente à peu près de 5 à 6 % de la production mondiale de phosphate, dans cette catégorie, ce n'est pratiquement que le phosphate bi calcique qui sert l'aliment pour bétail. Il est obtenu par attaque à l'acide chlorhydrique du phosphate naturel.

2) Les engrais phosphatés simples [11]

Ils représentent de 35 à 40 % de production mondiale de phosphate; ils s'agissent essentiellement de :

- Les phosphates moulus : sont obtenus par broyage très fin du minerai de phosphate, leur teneur moyenne varie entre 26 et 33 % de P_2O_5
- Les phosphates calcinés : sont obtenus après broyage et calcination du phosphate à haute température de l'ordre de 600 à 1000 C°, ils sont de moins en moins utilisés à cause de leur coût énergétique.
- Le super phosphate simple (SSP) : est obtenu par attaque du phosphate par l'acide sulfurique, c'est un engrais à bas titre (18% de P_2O_5).
- Le triple superphosphate : il est obtenu par réaction entre le phosphate et l'acide phosphorique, c'est un engrais d'un seul élément fertilisant contenant environ 46 % de P_2O_5

➤ les engrais phosphatés composés

Il s'agit d'une groupe des engrais obtenus par la réaction entre l'acide phosphorique sur l'ammoniac ;

- Le phosphate monoammonique (MAP) ; est obtenu par la neutralisation de l'acide phosphorique par NH_3
- Le phosphate diammonique (DAP) ; est obtenu grâce à la neutralisation d'une mole de l'acide phosphorique par 2 moles de NH_3
- Le sulfate-phosphate d'ammonium ; est obtenu par la réaction entre l'acide phosphorique, l'ammoniac et l'acide sulfurique.
- Le phosphate nitrate d'ammonium ; est obtenu par la réaction entre l'acide phosphorique, l'ammoniac et l'acide nitrique.

- Le phosphate d'ammonium urée ; est obtenu par la réaction entre l'acide phosphorique, l'ammoniac et l'urée.
- Le nitrophosphate ; est obtenu par attaque directe de phosphate par l'acide nitrique.

3) l'industrie chimique

Il absorbe à peu près de 6% de la production mondiale de phosphate, notamment pour le traitement des eaux, les plastiques, les insecticides, les pesticides et les détergents, en pharmacie et dans l'alimentation humaine.

4) L'acide phosphorique [11]

Il représente de 56 à 60 % de la production mondiale de phosphate, les deux tableaux représentent la production et la consommation mondiale de phosphate sous forme d'acide phosphorique de l'année 2010 en

➤ Production :

Tableau 02 : Production mondiale de l'acide phosphorique en 2014 [10]

Asie de l'est (chine...)	14426	Proche orient (Syrie, Jordan...)	1501
Amérique du nord (états unis)	8575	Asie du sud (Inde...)	1375
Afrique (Maroc, Tunisie...)	6541	Europe d'ouest (France...)	648
Europe de l'est et Asie centrale (Russie...)	3403	Océanie	481
Amérique du sud (Brésil...)	1737	Europe centrale	412

C- Production et réserve**1) Production et réserve**

Les réserves prouvées et probable de minerais de phosphate naturels connu dans le monde sont considérable, d'après l'inventaire du congrès géologique international, de Madrid (1928), c'est plus de 1000 ans de vie que représentent les réserves connues.

La production mondiale évaluée en million de tonnes de concentrés marchands est d'environ 130 million de tonnes par années. La majeure partie de cette production revient au gisement sédimentaire avec un taux de 80%. Celle des gisements magmatiques et des gisements issus des guanos représentent respectivement environ 17% et 3%

Les quatre principaux producteurs de PN (Etats-Unis, Chine, Maroc et Sahara occidental, et Fédération de Russie) produisent environ 72 pour cent du total mondial. Les 12 principaux producteurs représentent plus de 93 pour cent du total mondial. Vingt autres pays produisent les 6 à 7 pour cent restants. [4]

2) Phosphate dans le monde**a) Gisements d'Europe**

Le gisement le plus important est celui de la péninsule de Kola (Russie), ou la production est estimée à plus de 20 000 tonnes/J. Il faut cependant signaler que dans les autres pays d'Europe, l'exploitation des gisements a été progressivement abandonnée, c'est le cas de l'Allemagne, la Suède, et la Norvège. [12]

b) Gisements d'Amérique

Le Mexique et le Chili disposent de ressources assez limitées. Le premier fabricant du superphosphate est le Canada avec un gisement à la limite des provinces du Québec et de l'Ontario. Ce dernier produit environ 150 000 tonnes/an. Les Etats Unis d'Amérique, avec les gisements de Florida et de Caroline du Nord est un grand producteur de phosphate (150 000 tonnes/an). [12]

c) Gisements d'Asie

Les principaux producteurs sont : l'Israël, la Jordanie, le Japon jusqu'à 1939 à raison de 200 000 tonnes/an. Le Vietnam et la Chine disposent de quelques ressources de phosphate, réparties sur de nombreux petits gisements. [12]

d) Gisements d'Afrique [12]

- **L'Afrique du sud:** Principalement le dépôt phosphaté de la baie de Saldanha.
- **Le Sénégal :** Avec les gisements de Taïba et de Thiès (100 km de Dakar), les réserves sont estimées à plus de 500 000 tonnes.
- **L'Egypte :** Produit des phosphates tricalciques dont la teneur en P₂O₅ varie de 22 à 25%).
- **La Tunisie :** L'ouverture du premier gisement remonte à 1899. Le groupe de mine de Gafsa exploitait régulièrement 1 million de tonnes par an. La Tunisie était en effet le premier exportateur mondial de phosphate pendant de nombreuses années et c'est en 1930 qu'elle atteignait son record de production. Les phosphates tunisiens sont moins riches (25 à 27% P₂O₅) que ceux du Maroc ; par contre leur solubilité critique est meilleure, d'où une utilisation directe en agriculture.
- **Le Maroc :** Avec les gisements de Youssoufia et de Khouribga, situés à 200 km au sud-est de Casablanca, l'exploitation a commencé en 1925 et actuellement, il fournit des produits d'environ 75% TPL.
- **En Algérie**

a) Les réserves [8]

Les réserves ne constituent qu'une partie de celles que recèleraient les bassins de phosphate. Au rythme actuel de la production, la durée de vie de ces réserves/ressources approcherait deux siècles. Les réserves sont près de deux milliards de tonnes de ressources/réserves principalement localisés dans l'Est du pays, les réserves connues dans le temps actuelle se divisent à :

- Djebel Onk Sud : 500 Mln tonnes, 24 - 30 % en P₂O₅ et 2-3% en MgO
- Djebel Onk Nord : 100 Mln tonnes, 20-26 % en P₂O₅ et 3.1 % en MgO
- M'Zaïta : 29 Mln tonnes, 23 % - 31% en P₂O₅
- El Kouif : 27 Mln tonnes, 25 % - 30 % en P₂O₅
- Djebel Dyr : 8 Mln tonne

b) La production [9]

L'Algérie recèle des ressources phosphatées importantes, ce qui permet de satisfaire les besoins nationales de cette matière et l'exportation d'une quantité appréciable.

La structure d'exploitation minière, l'Entreprise nationale du fer et du phosphate, FERPHOS, est en mesure de fournir à ASMIDAL, l'entreprise de transformation et de production, des quantités de phosphate naturel couvrant ses besoins, avec un surplus pour l'exportation.

FERPHOS a lancé un appel à la manifestation d'intérêt pour la réalisation d'un pôle industriel pour la fabrication des productions phosphatés. Le réseau de disponibilité de cette dernière s'articule autour de quatre réseaux, tous liés à ASMIDAL :

- ASMIDAL (réseau 1) : Fabrication; importation/exportation; stockage ; distribution.
- CASSAP (réseau 2) : Importation ; stockage ; distribution.
- CCLS (réseau 3) : Stockage ; distribution.
- Revendeurs (réseau 4) : (privés, représentants de firmes étrangères ...etc.)

FERPHOS s'articule dans leur exploitation à quatre gisements principaux qui produisent le phosphate par des quantités différentes de l'une à l'autre ; la production se divise comme suite :

- Djebel Onk : environ de 1.500.000 t/an.
- M'Zaïta : 100.000 t/an.
- Bordj Ghdyr : 20.000 t/an.
- Tocqueville : 5.000 à 10.000 t/an

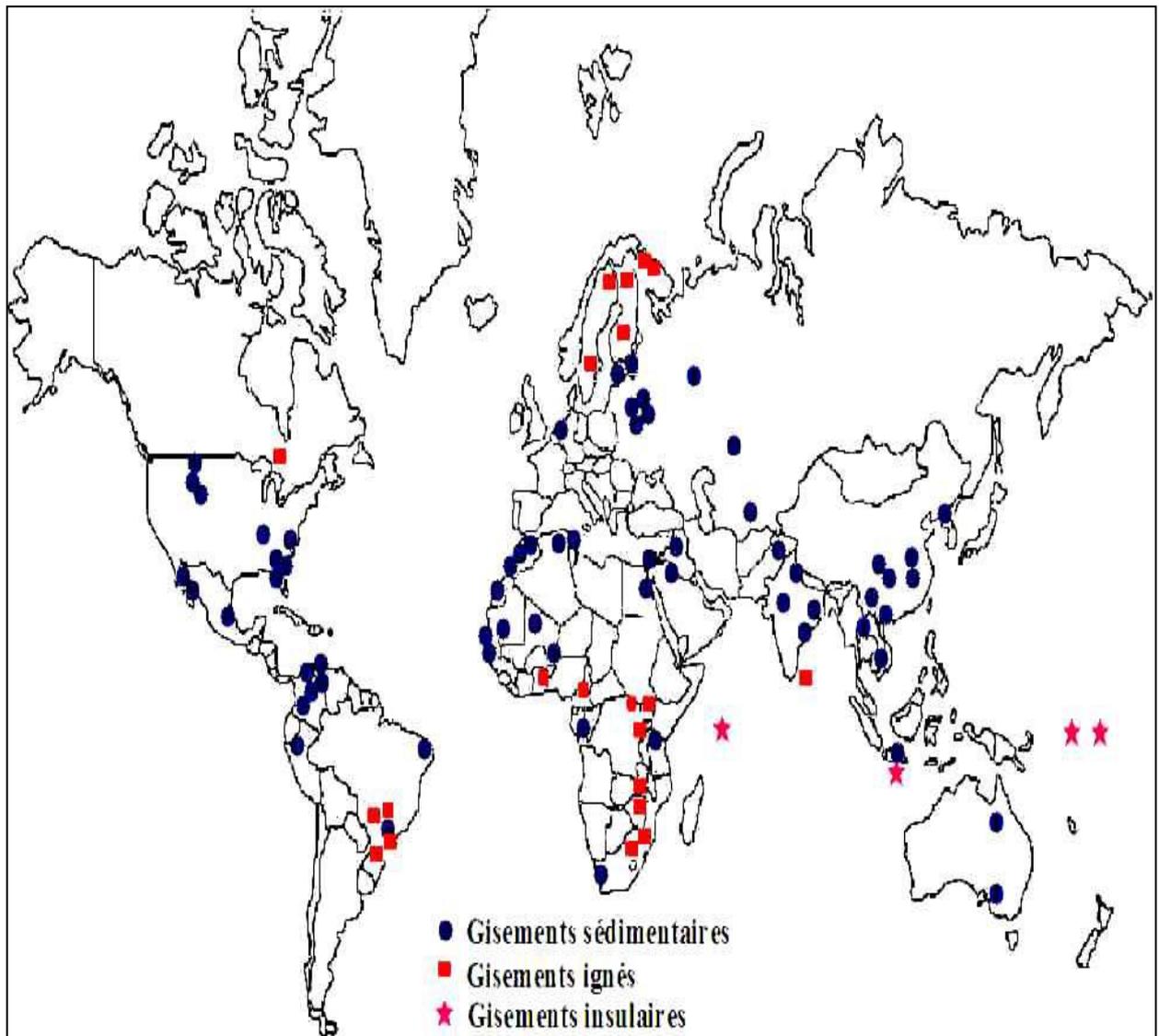


Figure 01: Carte géologique des gisements de phosphate actuellement en exploitation au monde

D- Statistique**1) Les tendances futuribles du phosphate**

Parmi les quatre principaux pays producteurs actuels de phosphate, le Maroc est dans la position la plus avantageuse et pourrait posséder plus de la moitié des réserves mondiales de phosphates. Pendant les 12 dernières années, la Chine a approximativement doublé sa production, et la Tunisie a augmenté la sienne d'environ 2 millions de tonnes, Deux nouvelles mines de phosphates se sont ouvertes au Canada et en Australie, Une future augmentation de production pourrait également venir d'Australie, de Jordanie, d'Irak et d'Afrique du Sud. [5]

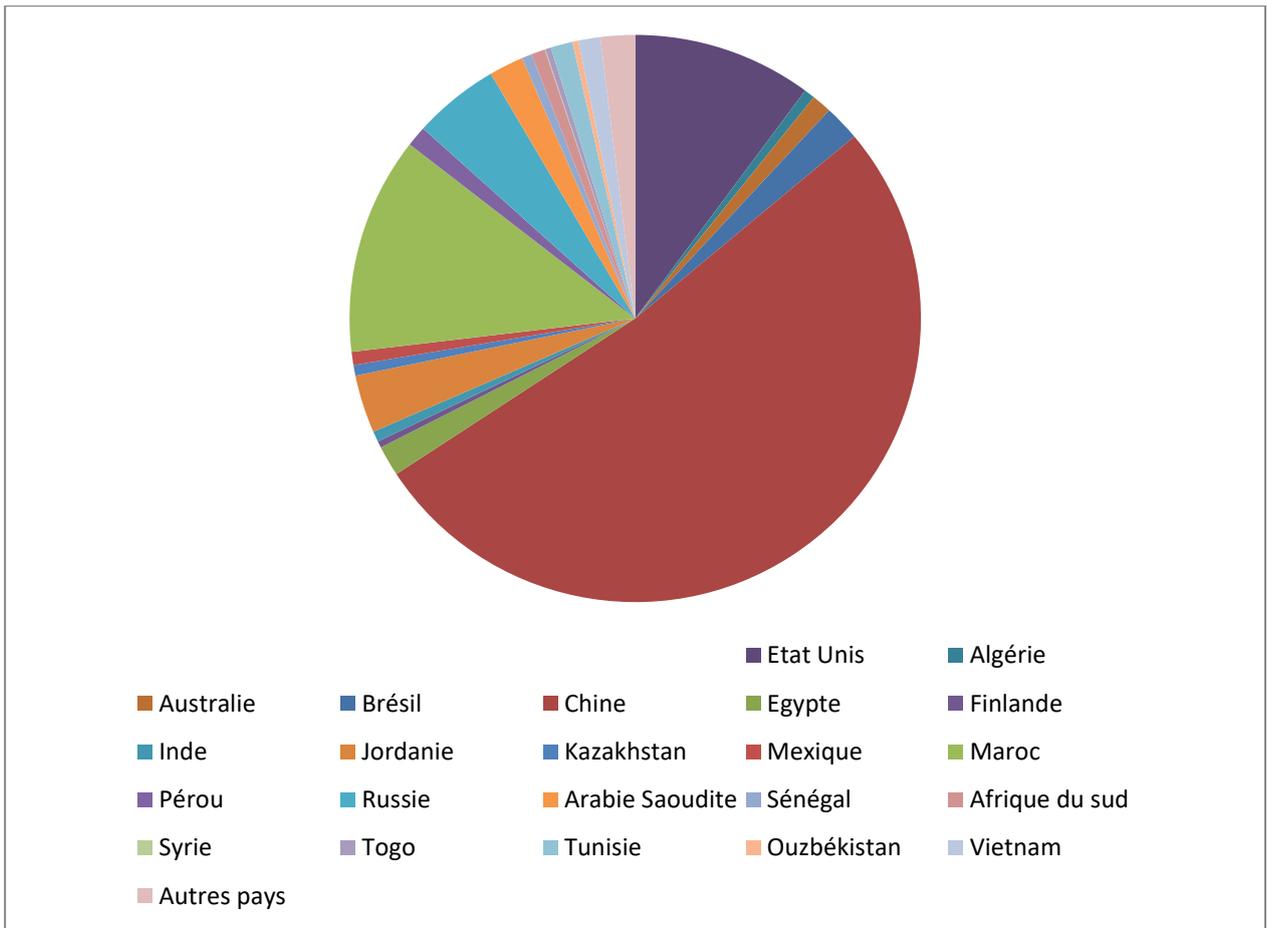
La production pourrait provenir de nouvelles mines du Pérou, d'Arabie Saoudite, de Mauritanie et de Guinée-Bissau. Il y a également des possibilités de découvrir de nouveaux gisements. [4]

Une future source de phosphates est l'exploitation des gisements en mer. Les gisements de ce type se trouvent le long de la côte sud-est des Etats-Unis, sur le plateau continental du Pérou-Chili, au large de la côte de Namibie, sur le Chatham Rise au large de la Nouvelle-Zélande, au large de la côte de Baja Californie, Mexique, et au large du delta du fleuve Congo. Aucun de ces gisements en mer n'est exploité, et ils ne seront probablement pas mis en exploitation tant que des réserves suffisantes existent sur terre. [4]

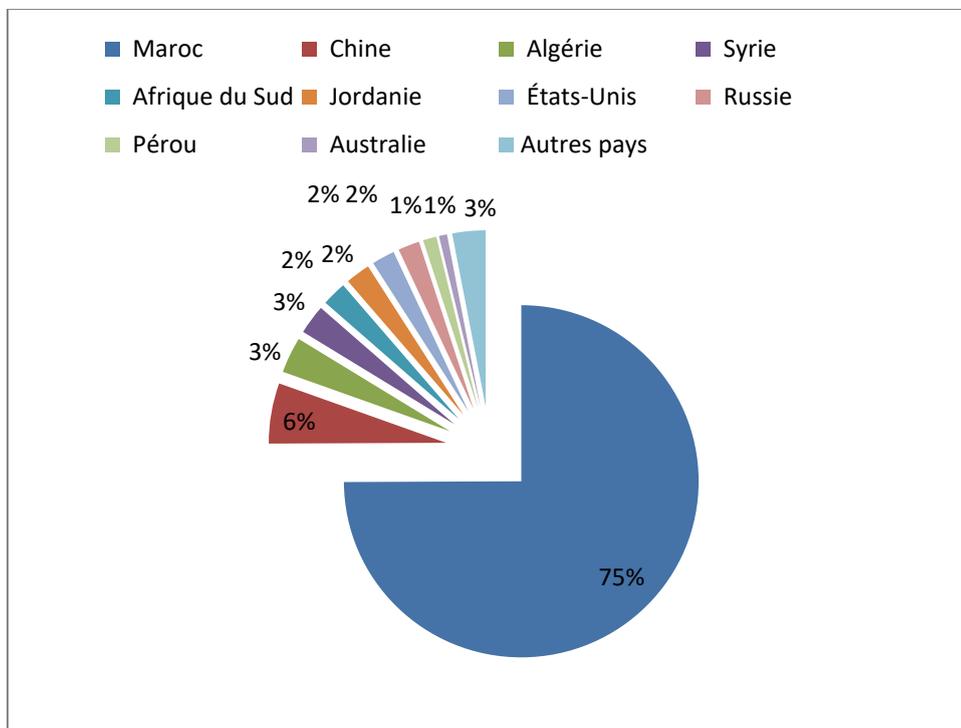
2) Statistique Production et réserve mondiales par pays de phosphate

Tableau 03 : Production et réserve mondiales par pays de phosphate naturel en 2018. [14]

Pays	Production (10⁶ kg)	Part mondiale (%)	Réserves (10⁶ kg)
Etat Unis	27000	10	1000000
Algérie	1625	0,48	2200000
Australie	3000	1,11	1100000
Brésil	5400	2	1700000
Chine	138000	51,85	3200000
Egypte	4600	1,7	1300000
Finlande	1000	0,37	1000000
Inde	1600	0,59	46000
Jordanie	8800	3,25	1000000
Kazakhstan	1600	0,59	260000
Mexique	2000	0,74	30000
Maroc	33000	12,22	50000000
Pérou	3100	1,14	400000
Russie	13000	4,81	600000
Arabie Saoudite	5200	1,92	1400000
Sénégal	1500	0,55	50000
Afrique du sud	2100	0,77	1500000
Syrie	100	0,04	1800000
Togo	850	0,31	30000
Tunisie	3300	1,22	100000
Ouzbékistan	900	0,33	100000
Vietnam	3300	1,22	30000
Autres pays	5200	2,26	837000



Figures 02 : Production mondiale par pays de phosphate naturel en 2018



Figures 03 : Réserves mondiales de phosphate en 2018

Conclusion

D'après la recherche bibliographique, nous concluons que les utilisations les plus importantes de phosphate dans le monde entier sont la production d'engrais phosphatés et d'acide phosphorique et les insecticides, les pesticides et les détergents, en pharmacie et dans l'alimentation humaine.

Chapitre II :
Traitement
du
phosphate.

II. Traitement du phosphate.**A. Méthodes d'exploitations à "D-O"****1) Introduction**

La grande majorité des sites d'extraction de phosphate sont des mines à ciel ouvert mais on rencontre aussi des exploitations souterraines.

La mine de Djebel Onk est l'un des sites d'extraction de phosphate à ciel ouvert dans le monde et est subdivisé en plusieurs secteurs mais actuellement l'exploitation du gisement du phosphate se concentre au niveau de la mine de Djebel Onk sud qui contient trois zones (Djemi Djema, Kef Essennoun et Tarfaya), et une seule carrière actuellement en exploitation (Kef Essennoun) avec la carrière de Djemi Djema zone2 qui a des réserves exploitable pour le moment mais pas important comparativement de celle de Kef Essennoun, cette dernière constituée de plusieurs gradins en forme d'une fosse. Le facteur de recouvrement est de deux pour un, c'est-à-dire que pour chaque gradin de minerai abattu, il faut abattre deux gradins de stériles. Pour cela, on trouve les gradins de stériles dans la périphérie et les gradins de minerais dans le centre de la fosse.

[15]

2) Situation géotechnique et minière de la carrière (paroi nord)

En 2007, un important glissement de terrain sur le versant nord de la carrière de Kef Essennoun qu'est changé l'état de l'exploitation de la carrière (la partie nord est abandonnée et le développement s'effectue vers l'ouest)

En 2013, des fissures sont été observées dans l'épaulement de la paroi nord. Ces fissures pourraient être des signes de mouvements de pente.

En juin 2014 les autorités minières algériennes ont interdit toute activité minière dans un périmètre donné en raison du risque de survenue d'un nouveau glissement de terrain, susceptible de se produire au niveau de la paroi nord. [17]

3) Stabilisation de la zone à risque

L'entreprise SOMIPHOS avec l'aide d'un bureau d'étude Allemand élaborer une étude de planification à long terme pour le gisement de Djebel Onk Sud et sont apporté des paramètres géotechniques pour la conception des fosses ultimes et des différentes phases d'exploitation

Des analyses géotechniques a été effectuées afin d'évaluer la situation actuelle à Kef Essennoun et de fournir des intrants géotechniques pour la planification des futures fosses. L'analyse de la situation actuelle a pour objectif de savoir comment poursuivre l'exploitation minière à Kef-Essennoun et développer la carrière à court et moyen termes.

On peut dire que ces analyses de stabilité sont démontrées que la fosse de Kef Essennoun peut être développée et qu'une bonne partie du phosphate de la paroi nord peut être extraite. La procédure recommandée est la suivante dans l'ordre chronologique :

- a) Stabilisation de la paroi nord par remblayage de la fosse existante (ce qui est indispensable pour des raisons de sécurité)
- b) Extraction des stériles et du phosphate de la paroi nord pour opérer une libération des contraintes
- c) Mise en valeur et développement de la fosse vers le sud [17]

4) Plan d'exploitation 2021 : [15]

- a) **Masse rocheuse** : 12.8MT répartie comme suit :

Masse rocheuse :

- **Stérile : 10MT**
- 8.5MT pour découvrir le phosphate de l'exercice 2021 à partir des zones actuellement en activités (K.E.S côté Nord-Ouest et Djemi Djema, Zone II côté Sud et extrême Sud).
- 1.5MT pour l'extraction de la couche marneuse, configuration des gradins finaux dans le calcaire, et création des accès pour l'exploitation du dôme de calcaire situé dans la zone d'affleurement de K.E.S (paroi Nord).
- **Phosphate (tout-venant) 2.8MT**
- L'extraction de cette quantité à partir de deux carrières en activité (K.E.S : côté Nord-Ouest, le bloc entre le Nord-Ouest et l'ancienne fosse, Phosphate beige de stot de protection et les deux gradins de phosphate noir de l'ancienne fosse, et DJDJ Zone II côté Sud et Extrême Sud).
- **Produit marchand : 1.6MT dont :**
- Qualité 66/68% TPL : 0.6MT : produite à partir de tout-venant en phosphate de la carrière de K.E.S côté Nord- Ouest, le bloc entre le Nord-Ouest et l'ancienne fosse, phosphate beige de stot de protection et les deux gradins de phosphate noir de l'ancienne fosse.
- Qualité 63/65% TPL : 01MT : produite à partir de tout-venant en phosphate de DJDJ Zone II côté Sud et Extrême Sud, stocks bruts (K.E.S et DJDJ Zone II) et le phosphate de faible teneur de K.E.S.

Tableau 04: Répartition mensuelle des objectifs 2021. [15]

Désignation	Sterile ×1000 (T)	Phosphate ×1000 (T)	Produits marchands ×1000 (T)
Janvier	850 000	238	136
Février	770 000	214	127
Mars	850 000	238	136
Avril	820 000	230	130
Mai	850 000	238	136
Juin	820 000	230	130
Juillet	850 000	238	136
Août	850 000	238	136
Septembre	820 000	230	130
Octobre	850 000	238	136
Novembre	820 000	230	131
Décembre	850 000	238	136
Total	10 000 000	2800	1600

B. Méthodes de traitement à "D-O"

1) Introduction [15]

Le phosphate marchand exige un traitement adéquat pour répondre aux besoins du marché mondial en terme de qualité et de quantité, à cet effet une industrie minière doit être équipée, d'une usine de traitement de la haute efficacité et très grande capacité productrice; le complexe minier de Djebel Onk fait partie de l'un des plus grand producteur de phosphate qui est le seul en Algérie ; j'ai étudié le traitement par vois humide et vois séché .

2) Compositions minéralogiques de minerai phosphaté de Djebel Onk [15]

Le minerai de phosphate dans la région de Djebel Onk se caractérise par ces deux qualités noir et beige qui diffèrent en pourcentage de la matière organique et MgO qui sont très grandes dans le phosphate noir et par un dégagement d'une mauvaise odeur pour le noir. Ca composition minéralogique est décrite dans le tableau suivant :

Tableau 05 : Composition minéralogiques du minerai de phosphate de Djebel Onk

Eléments composants	Symboles
Phosphate tricalcique	Ca (PO ₄) ₂
Carbonate de calcium	CaCO ₃
Carbonate de magnésium	MgCO ₃
Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂
Alumine	Al ₂ O ₃
Hématite (oxyde de fer)	Fe ₂ O ₃
Gypse	CaSO ₄
Sulfate de soude	Na ₂ Ca (SO ₄) ₂
Chlorure de calcium	CaCl ₂
Quartz	SiO ₂
Sulfate, Fluor et matières organiques	S, F, C
Autres éléments en traces (Cadmium, Uranium, Titane...)	Cd, U, Ti

3) Traitement de phosphate

Est une séparation granulométrique, cette méthode d'enrichissement basée sur les paramètres physique de produit. [15]

a) préparation mécanique

Avant de subir des traitements proprement dits, le tout-venant subit un traitement préliminaire qui consiste à préparer le minerai aux prochaines étapes de traitement et cela en utilisant différents procédés à savoir

1. Concassage

Cette opération a pour but la réduction de la taille des blocs de 1000mm à 200 mm au maximum.

Elle se fait au moyen d'un concasseur à cône giratoire « BABITLESS » d'une capacité de 1000 t/h a un rapport de réduction de cinq (5), conçu essentiellement pour les produits de la carrière de Djemijema.

Pour ce qui est tout venant de Kef essnoun, l'équipement de concassage broyage utilisé est un broyeur à marteaux (HAZEMAG) menu d'un système de scalp-age d'une capacité de 1200 t/h. a un taux de réduction allant jusqu'à soixante (60).

Le produit concassé de Djemijema passe à l'étape suivante.

2. Broyage

Cette opération consiste à réduire la taille du produit concassé jusqu'à une dimension de 20 mm un taux de réduction de dix (10).

Et ce au moyen de (03) broyeurs à marteaux articulés (WEDAG) d'une capacité de production e 300t/ h/ broyeur, le produit broyé sera ensuite acheminer vers l'atelier de criblage.

3. Criblage

Consiste à éliminer le produit dont la dimension est supérieur à 15 mm au moyen de trois (03) cribles vibrants (WEDAG) en aval du BABITLESS d'une capacité de 250 t/ h/ crible.

Le rendement en poids de cette opération atteint les 95%.par contre le produit concassé de Kef essnoun alimente (02) cribles vibrants inclinés (HAZEMAG) d'une capacité de 700t/ h/ crible, et une ouverture de 15 mm, les refus de ces cribles sont recyclé pour revenir au broyeurs.

Les refus des cribles (WEDAG) sont acheminés vers une trémie de déchargement pour ensuite les transportés a des terrils à l'intérieur des fosses créés par l'exploitation.

Le but essentiel de la préparation mécanique est d'avoir un produit de taille inférieur à 15 mm pour servir les deux chaînes de traitements.

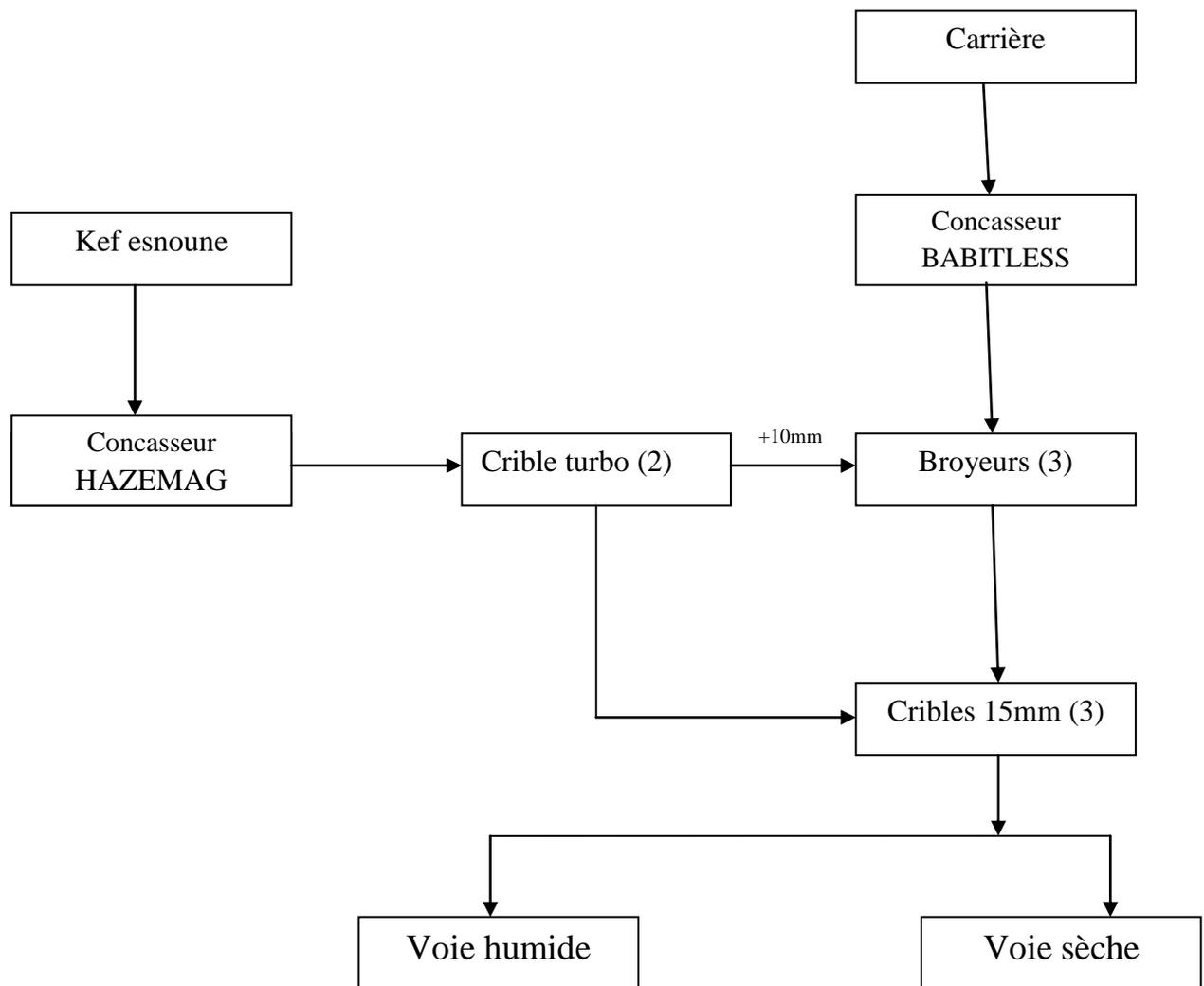


Figure 04 : Schéma technologique de la préparation mécanique

b) Traitement par voie humide

Nous utilisons les eaux dans cette méthode, Il y a trois lignes de production existant dans l'atelier de débouage d'une capacité de production de chaque ligne est 90 t/h

- Le but de la voie humide

Le but de cette opération pour éliminer les argiles, les silicates, les matières organiques ainsi que les sels..... Il est constitué des opérations suivantes :

1- une mise en pulpe. 2-criblage humide (grilles courbes). 3-hydro cyclonage. 4- filtration.

5-Séchage

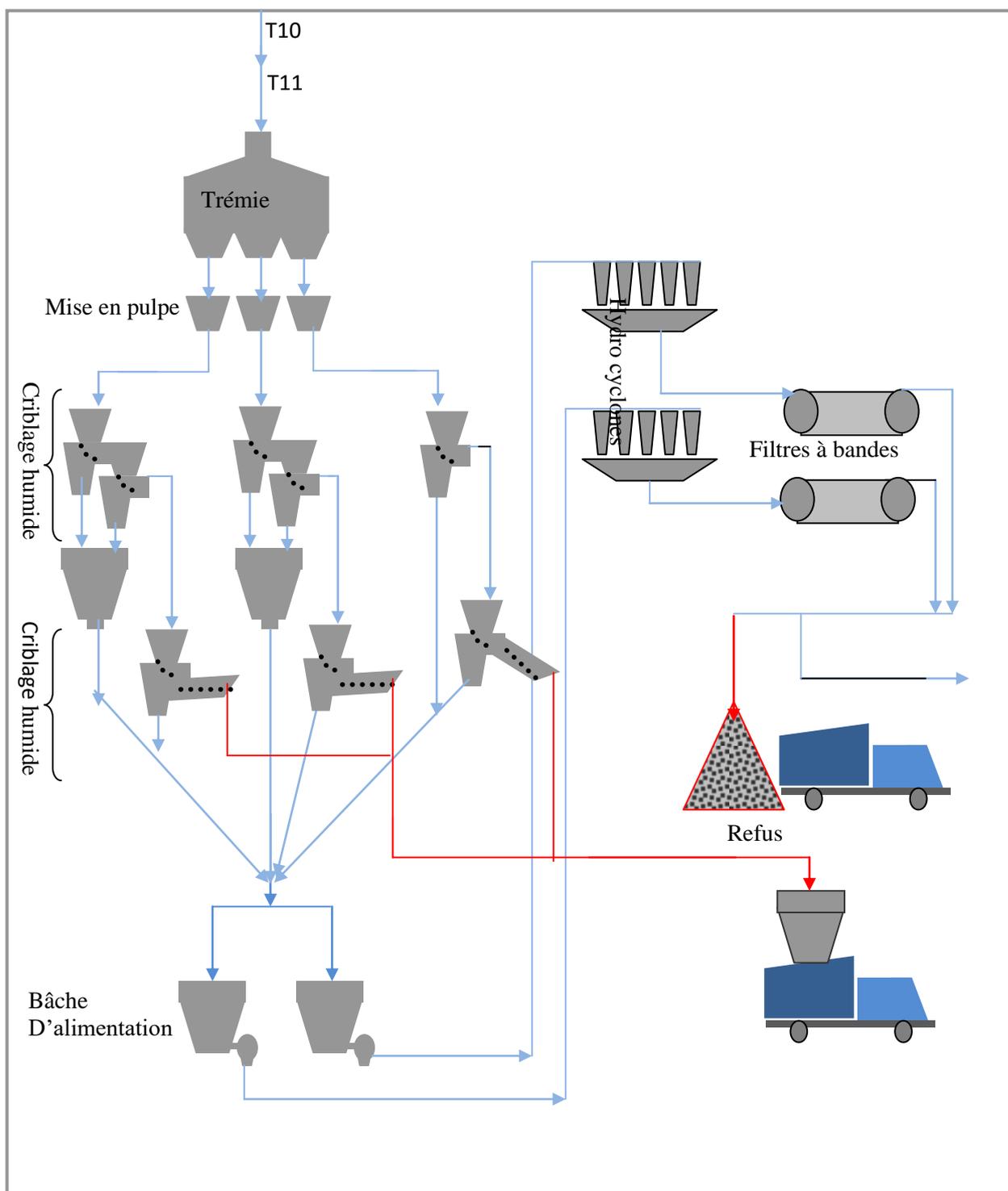


Figure 05 : Schéma Technologique du débouillage

1. Débourage

Le passant crible de dimensions inférieure à 15 mm est mélangé avec de l'eau en cadre de rapport solide/liquide égale à 2/3 (T/m³) liquide, qui est alimenté les grilles courbes pour éliminer les particules supérieures 1 mm .

Les hydro cyclones créent un mouvement hélicoïdal qui élimine la tranche inférieure 0.8mm. Les fines particules très pauvre en phosphate seront acheminées vers l'épaississeur et les grandes particules (1 à 0.8mm) est passé vers les filtres à bande.

Le produit débourbe titrant de (63 à 64.5 %) TPL est expédié pour la deuxième opération (Séchage).

- la mise en pulpe : nous réalisons cette opération par malaxeur.

Nous pouvons calculer le débit de ce malaxeur à partir le débit de transporteur à bandes et rapport liquide solide

Nous avons trois transporteurs, le débit de chaque transporteur est 100t/h

Et le rapport liquide/ solide est 2/3 liquide

Alors le débit d'un seul malaxeur est 303 t/h

Comme est présenté dans la figure 03

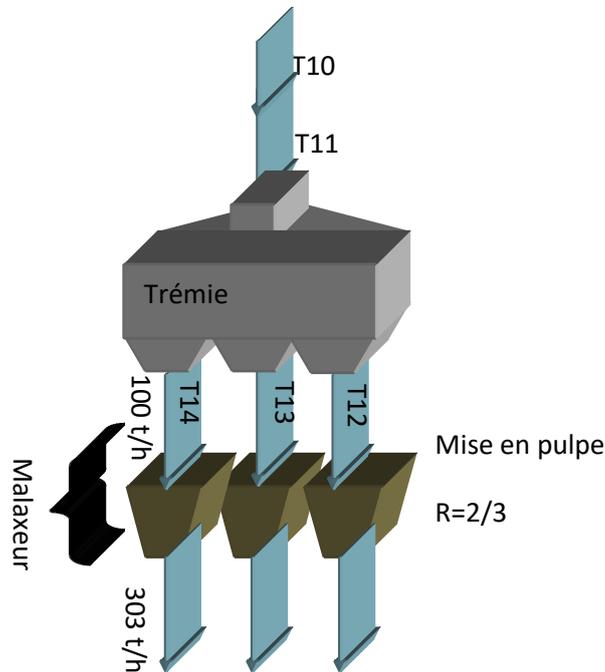


Figure 06 : débit du malaxeur

-criblage humide (grilles courbes) : le but de cette opération éliminer les particules grosse supérieur 1 mm

Dans chaque ligne nous avons trois grille courbes sont installer successive sauf la ligne A trouver deux grille courbe

Le refus de grille courbe 1 est passé vers deuxième et troisième grille courbe pour récupérer les particules de phosphate et après troisième grille courbe nous échappons les refus ; le passant est alimenté les hydro-cyclones pour contenue les procéder nécessaire. Comme est présenté dans la figure 06

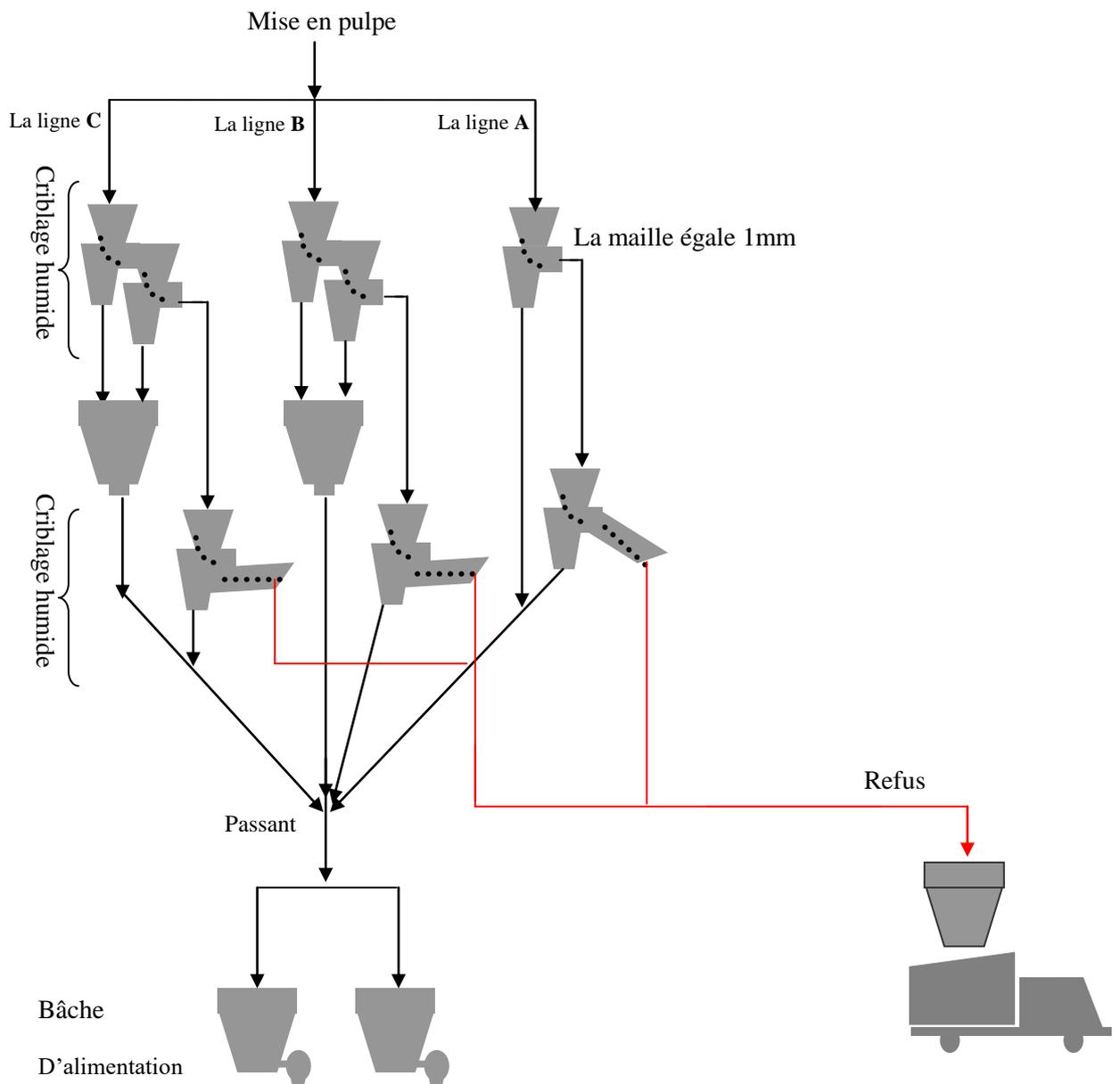


Figure 07 : l'installation des grilles

2. Hydro cyclonage :

il y a deux ligne dans chaque ligne nous avons 6 hydro-cyclones **par** débit de 25 t/h pour un seul d'hydro-cyclone, le but de cette opération est éliminé les particules inférieure 0.8mm comme boues.

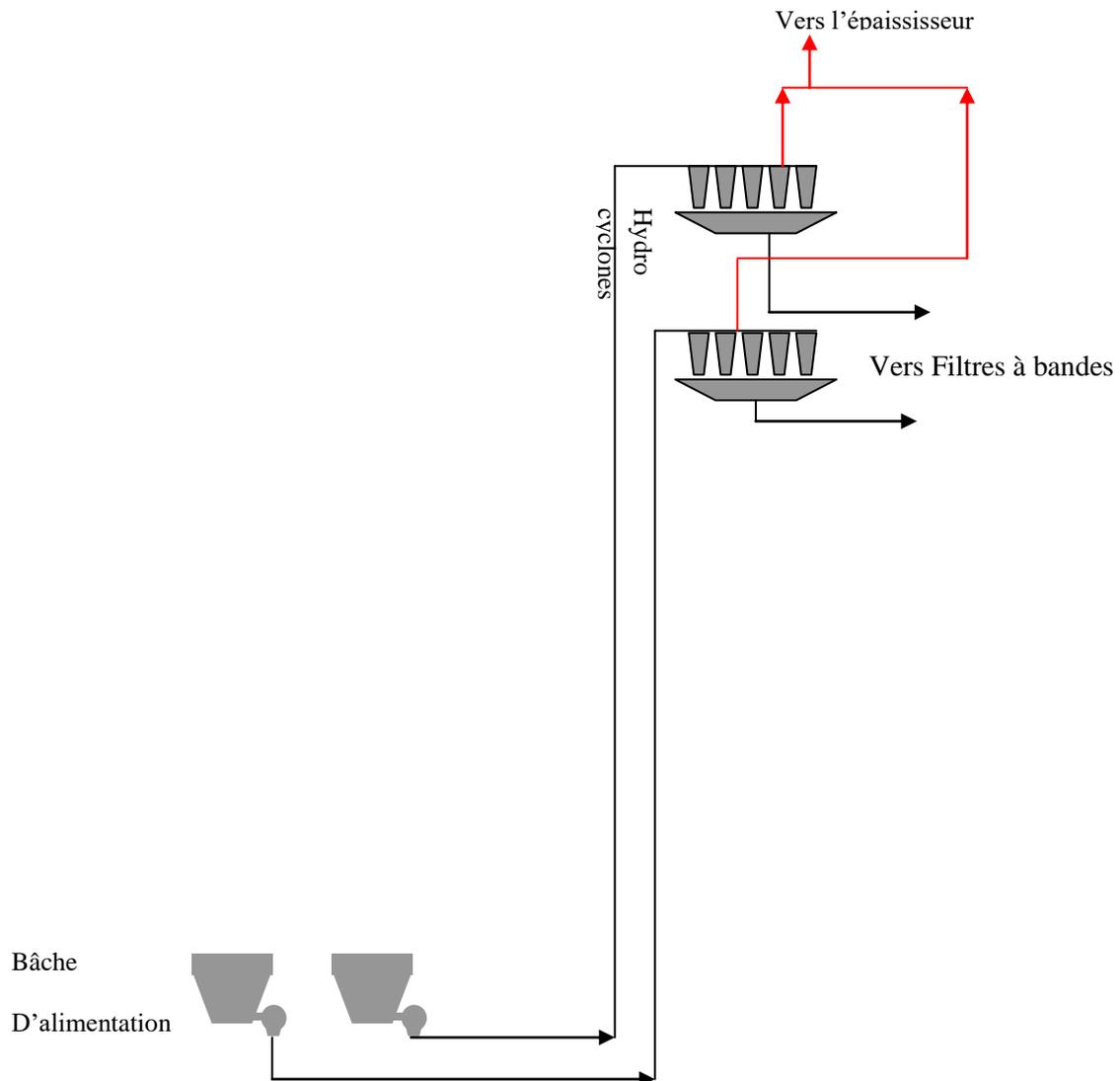


Figure 08 : l'installation des hydro-cyclones

- Les composants des hydro-cyclones

Le schéma d'un hydro cyclone est montré à la Figure 06. L'hydro cyclone est un appareil sans partie mobile utilisé dans les procédés de classification des particules. L'hydro cyclone est composé d'une section cylindrique supérieure et d'une section conique inférieure. On y distingue un orifice d'alimentation, une buse de sur verse sur la section cylindrique et une buse de sou verse à la pointe du cône

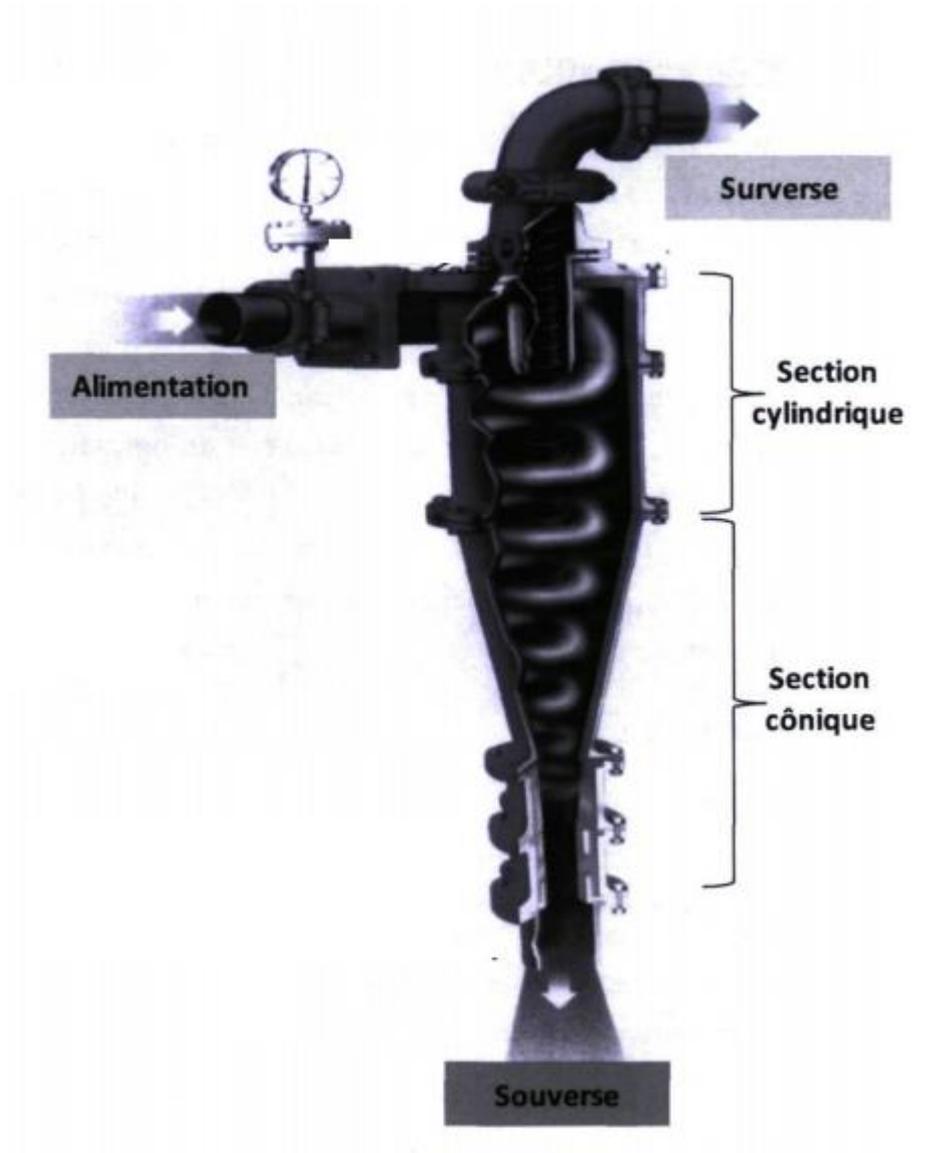


Figure 09 : Les composants des hydro-cyclones

- Principe d'opération d'un hydro-cyclone

L'hydro-cyclone est alimenté avec une pulpe minérale constituée de minerai broyé et d'eau. La pulpe est pompée sous pression et introduite tangentielle dans la chambre d'alimentation située au sommet de la partie cylindrique. L'injection tangentielle donne à la pulpe un mouvement hélicoïdal et génère un vortex à pression négative dans l'axe de l'hydrocyclone. Le principe est montré à la Figure 7. Une colonne d'air se développe le long de l'axe vertical résultant de l'air aspiré par la pulpe descendante et l'air de l'extérieur via la décharge à la sou-verse. Les particules sont soumises à deux forces opposées dont une force d'entraînement et une force centrifuge. La force d'entraînement est orientée vers le centre et dirige l'eau et les particules fines vers la colonne d'air où elles sont évacuées vers la surverse. La force centrifuge entraîne les particules grossières, qui subissent en même temps l'effet de la gravité, vers la paroi pour les décharger à la sou-verse. L'effet des variables opératoires comme le débit d'alimentation et la concentration de solides de la pulpe d'alimentation est discuté à la section

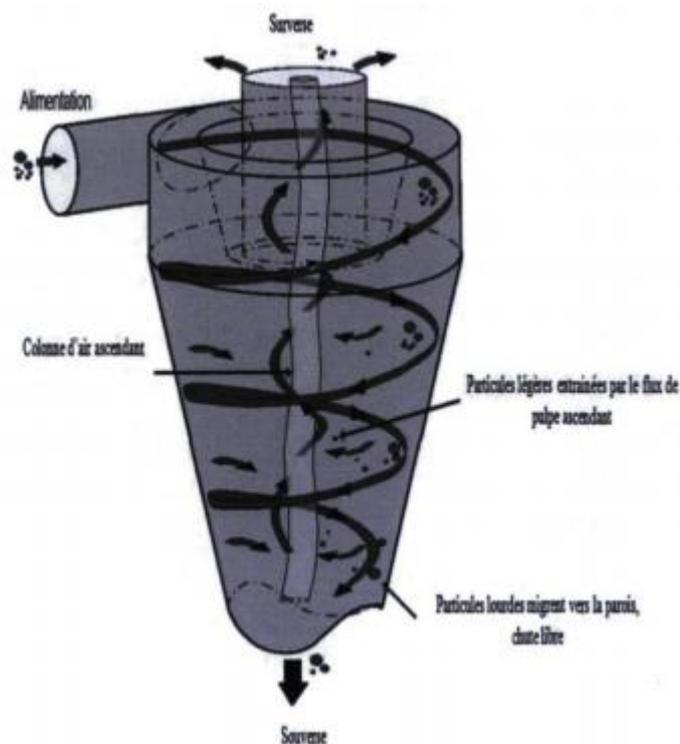


Figure 10 : les forces des hydro-cyclones

- Remarque

La sou-verse de chaque hydro cyclone alimente les filtres à bande dont le rôle est de diminuer l'humidité et la surverse est évacuée les boues vers l'épaississeur pour le recyclage des eaux L'épaississeur est montré à la Figure 08

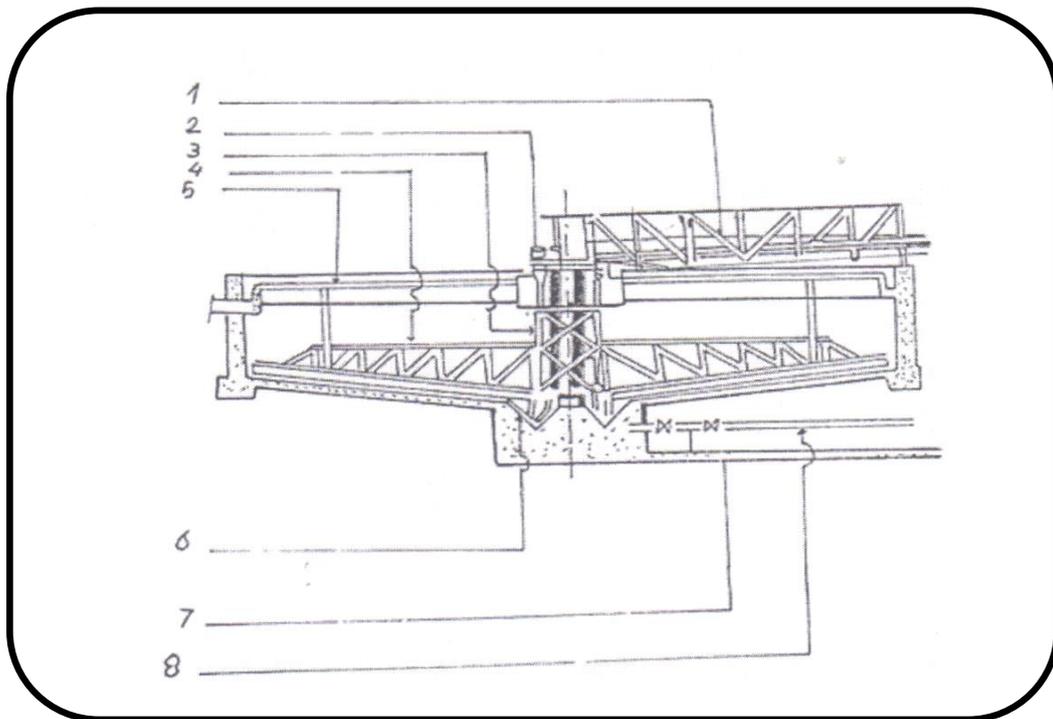


Figure 11 : Schéma d'un épaisseur.

1 : Passerelle de service

2 : Groupe entraînement

3 : Cage centrale

4 : Bras raclure

5 : Niveau de la solution

6 : Raclure centrale

7 : Tunnel d'accès aux vannes

8 : Tuyauterie d'extraction

3. Filtration :

Est une opération de réduire l'humidité de phosphate après l'opération de hydro-cyclonage jusqu'à 15% ; il y a deux filtres à bande par un débit de 180 t/h pour un seule filtre

Filtration est une dernière étape en l'atelier débouillage. Le produit est passé vers les fours sécheurs pour réduire l'humidité jusqu'à 1% et dans la figure 09 nous présentons l'installation des filtres à bandes

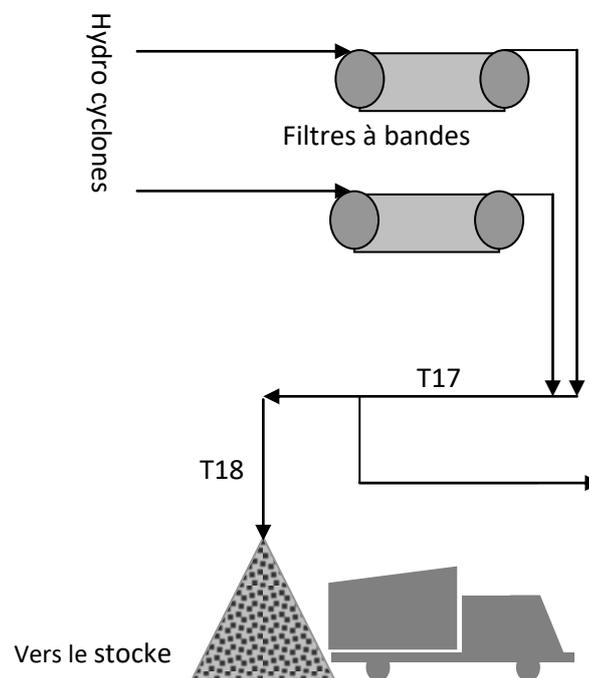


Figure 12 : l'installation des filtres à bandes

4. Séchage par fours verticaux

Dans le passé le produit débourbé était préalablement destiné à un traitement pyrotechnique par la calcination à des températures allant de (700-900) °C. Comme le procédé revenait onéreux d'une part et pour augmenter la production journalière en produit marchand (la finalité est aussi de rentabiliser cet atelier) répondant aux exigences des clients, l'atelier a subi une modification en four sécheur vertical d'une capacité de 70 t/h (compartiment de préchauffage) à une température atteignant les 100°C, est en phase de conversion en gaz naturel pour les trois lignes de cet atelier.

5. Le lavage

La calcination était précédée d'un lavage du minerai calciné, actuellement, l'atelier subit des modifications, pour sa conversion en un 2^{ème} atelier de débourbage afin d'augmenter la production journalière.

6. Séchage par fours horizontaux

L'opération de séchage a pour but d'éliminer l'humidité dans le produit débourbé. Cet atelier comporte deux fours horizontaux rotatifs avec une température de 120°C.

Ces fours à mouvement rotatif sèche le produit débourbé pour obtenir un concentré de 1% d'humidité (figure10).

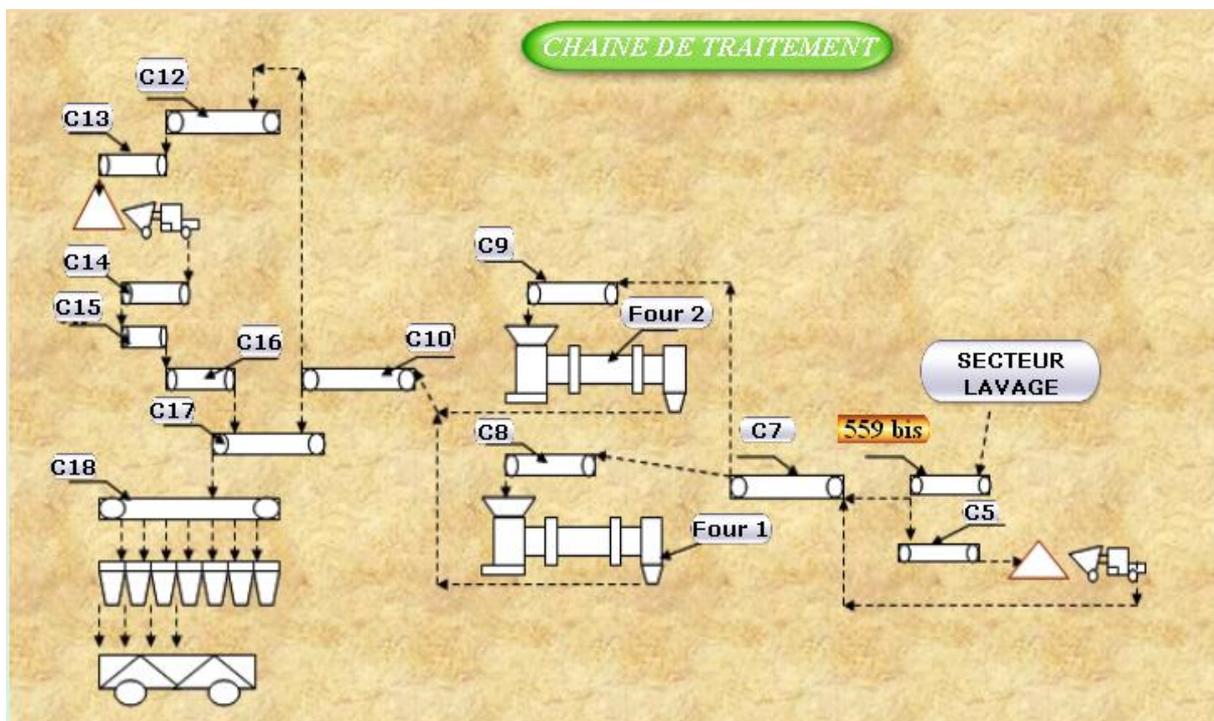


Figure 13 : Schéma technologique atelier de séchage
Fours horizontaux rotatifs

c) Traitement par voie sèche (Dépoussiérage) [17]

Cette opération s'effectue dans les ateliers de dépoussiérage (**DK2** et **DK3**), est un procédé physico-mécanique d'enrichissement du minerai phosphate pour l'obtention d'un concentré moyen de 29 à 30 % P_2O_5 c'est un procédé issu d'une technologie de traitement à sec, basé essentiellement sur la décarbonation par impacte et aménagement granulométrique.

Le but principal de ce type de traitement est d'enrichir à sec un produit provenant de la carrière ayant 54 à 56 % de TPL, broyer et cribler à 15 mm contenant 3 à 7 % d'humidité pour ramener à la qualité commerciale titrant 62.5 % à 63.5 de TPL et des granulométries comprise entre 800 μ et 90 μ . Chaque ligne est d'une capacité de 230 T/h à l'alimentation et 137.5 T/h à la sortie d'un rendement poids de 60 à 62 % pour pouvoir traiter et enrichir à sec le produit il doit subir cinq opérations de préparation et d'enrichissement.

1. Séchage à lit fluidisé

Cette opération élimine aussi une partie des solides les plus fines en les entraînant avec les gaz de fluidisation. Il consiste de deux fours sécheurs, ils sont divisés en deux comportements :

- Combustion et dilution.
- Séchage par fluidisation.

2. Criblage à 2mm

Cette opération consiste à éliminer le produit dont la dimension est supérieure à 2mm au moyen du crible équipé d'un tamis de 2 mm, permet le rejet des gros supérieurs à 2mm qui sont du calcaire, les moins de 2 mm sont admis et acheminés vers les broyeurs (rendement poids 88%).

3. Broyage à attrition

Pour libérer une partie de l'exo gangue aux grains de phosphate, et permettre un meilleur enrichissement final par séparation granulométrique et ce au moyen des broyeurs « Broyeur DRAGAN » équipés d'un rotor sur lequel sont portés des marteaux et chambre de broyeur.

4. Sélection par une turbo sélection ventilée

Cette opération a pour but d'enrichissement du produit en éliminant les fines moins de 80 microns à l'aide des ventilateurs.

5. Criblage à 0,8mm

Le même principe que les cribles de 2 mm d'où ils sont rejetés les grains de phosphate supérieurs à 0.8 mm.

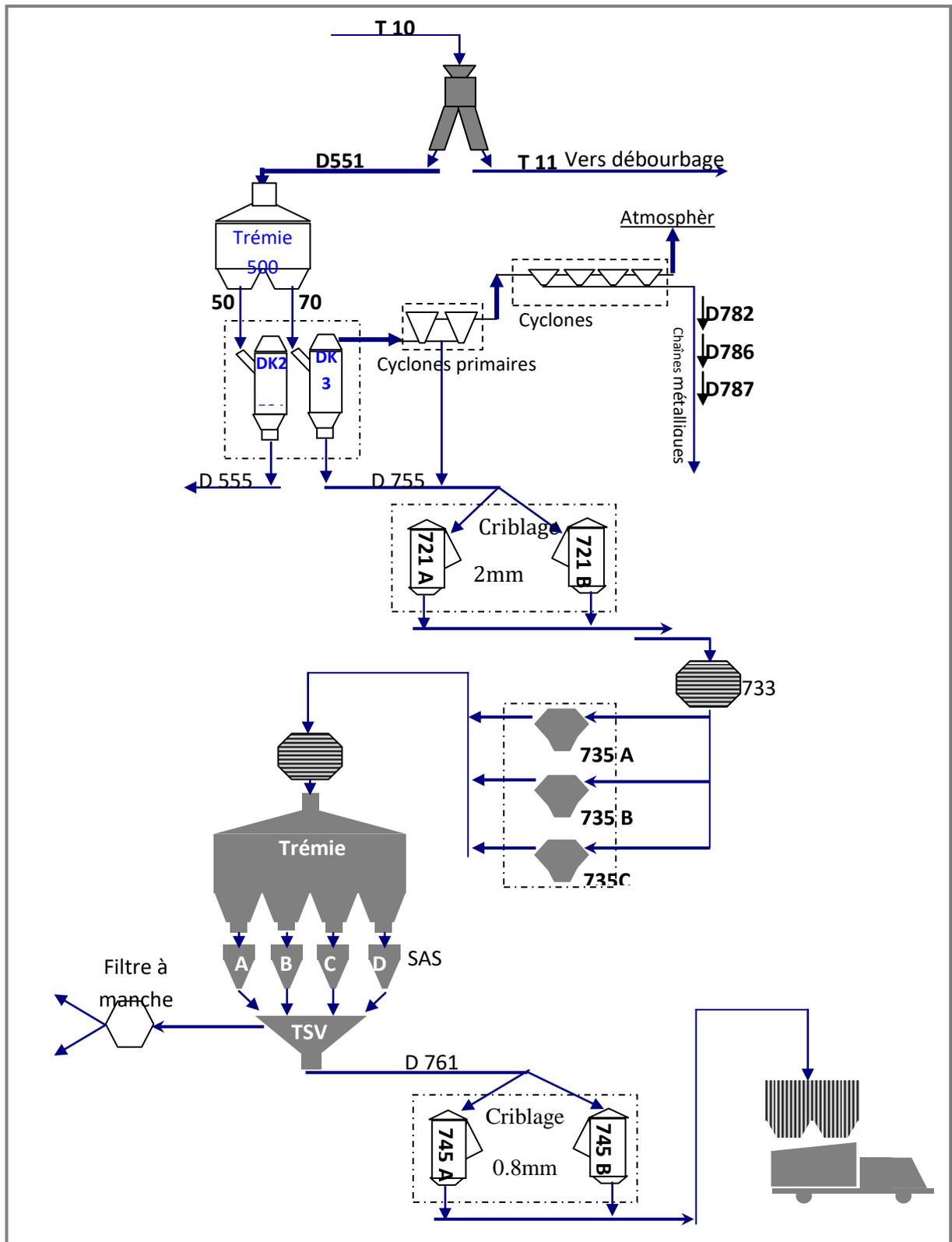


Figure 14 : Schéma Technologique de dépoussiérage

C. Types de concentrés

1) Les types de concentrés de phosphate cas de Djebel Onk [15]

Le minerai de phosphate au niveau de Djebel Onk passe en deux étapes d'enrichissement pour l'obtention des produits concentrés (voies humides, voie sèche), deux types concentrés traiter par voies humides (**B1** : Sortie séchage B1 pour 63/65 % TPL, **FR** : Sortie séchage four rotatif pour 63/65 %TPL) et deux types concentrés traiter par voie sèche (**dép.** : Sortie dépeussierage 66/68 %TPL, **91** : Sortie dépeussierage 63/65 %TPL)

Tableaux 06 : La composition chimique des différents concentrés

PRODUITS	P ₂ O ₅ %	CO ₂ %	MgO%	TPL%
B1	29,06-29,51	8,85-8,74	1,3-1,3	63,5-64,5
FR	29,06-29,51	8,85-8,74	1,3-1,3	63,5-64,5
dép.	Min : 30	Max : 7,7	Max : 1	Min : 65, 55
91	29,06-29,51	8,85-8,74	1,3-1,5	63,5-64,5

D. Production.**1) Répartition mensuelle produit atelier débouillage [15]**

Débit horaire par ligne : 53 t/h ; production horaire par ligne: 45 t/h; lignes programmées: 2 et 3 (ligne 1 en réserve)

Tableaux 07 : Répartition mensuelle produit atelier séchage B1

Désignation	Alimentation ×1000T	Production ×1000 (T)	Heures de marche atelier (H)
Janvier	35	30	667
Février	33	28	622
Mars	35	30	667
Avril	33	28	622
Mai	35	30	667
Juin	33	28	622
Juillet	35	30	667
Août	35	30	667
Septembre	33	28	622
Octobre	35	30	667
Novembre	33	28	622
Décembre	35	30	664
Total	410	350	7776

Débit horaire par ligne : 42 t/h ; Production horaire par ligne 35 t/h ; Nombre de fours programmés: 02

Tableaux 08 : Répartition mensuelle produit atelier séchage (fours rotatifs)

Désignation	Alimentation ×1000T	Production ×1000 (T)	Heures de marche atelier (H)
Janvier	35	30	857
Février	33	28	800
Mars	35	30	857
Avril	33	28	800
Mai	35	30	857
Juin	33	28	800
Juillet	35	30	857
Août	35	30	857
Septembre	33	28	800
Octobre	35	30	857
Novembre	33	28	800
Décembre	35	30	857
Total	410	350	7776

2) Répartition mensuelle produit atelier dépeussierage [15]

Tableaux 09 : Répartition mensuelle produit atelier dépeussierage

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Alimentation DKII pour (66/68) X1000T	46	43	46	44	46	44	46	46	44	46	44	46	541
Alimentation DKIII pour (66/68) X1000T	51	48	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	609
Production DKII pour (66/68) X1000T	28	26	28	27	28	27	28	28	27	28	27	28	330
Production DKIII pour (66/68) X1000T	31	29	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	370
Production dépeussieré totale (66/68) X1000T	59	55	59	58	59	58	59	59	58	59	58	59	700
Heures de marche DKII pour (66/68) (H)	311	289	311	300	311	300	311	311	300	311	300	311	3666
Heures de marche DKIII pour (66/68) (H)	282	264	282	282	282	282	282	282	282	282	282	282	3366
Alimentation DKII pour (63/65) X1000T	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	156
Alimentation DKIII pour (63/65) X1000T	14	13	14	14	14	13	14	14	13	14	13	14	164
Production DKII pour (63/65) X1000T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	96
Production DKIII pour (63/65) X1000T	9	8	9	9	9	8	9	9	8	9	8	9	104
Production dépeussieré totale (63/65) X1000T	17	16	17	17	17	16	17	17	16	17	16	17	200
Heures de marche DKII pour (63/65) (H)	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	876
Heures de marche DKIII pour (63/65) (H)	64	57	64	64	64	57	64	64	57	64	57	64	740

E. Utilisateurs du phosphate de D-O

1) Utilisation du phosphate

Les phosphates algériens, sans être aussi riches que ceux du Maroc et des Etats-Unis, ont néanmoins la même valeur que ceux de Tunisie. Leur teneur en phosphate tricalcique est comprise entre 63 et 70 %.

Leurs usages principaux sont l'agriculture, qui les emploie sous forme d'engrais phosphatés, superphosphates...etc

L'industrie des superphosphates, qui est actuellement très florissante en Algérie, est la conséquence de l'existence dans la colonie de ces importants gisements de phosphates. Trois usines, employant plus de 200 ouvriers, se livrent à cette fabrication, qui consiste en un traitement du phosphate par l'acide sulfurique. Le phosphate est arrivées des mines de M'Zaïta, Tocqueville et Djebel El Kouif.

La production du superphosphate dépasse 70.000 tonnes par an. La majeure partie, 40.000 tonnes environ, est consommée par l'agriculture algérienne; le reste, soit 30.000 tonnes, est exporté. Ajoutons toutefois que la consommation locale, qui est de 60.000 tonnes, doit importer de France une vingtaine de mille tonnes.

D'autre coté ; la production des engrais phosphatés est assurée par la société de ASMIDAL (Wilaya De Annaba) qui est alimenté par le phosphate de Djebel El Onk. [17]

2) Utilisateurs du phosphate [18]

Selon l'agence APS, les deux entreprises chinoises, CITIC et WENGFU auraient engagé des pourparlers avec les groupes publics algériens MANAL, SONATRACH et ASMIDAL pour un éventuel partenariat dans l'exploitation et la transformation de phosphates. Des représentants des deux sociétés ont dans ce cadre visité au début de l'année 2018 le site minier de « Bled El-hadba » dans la région de Tébessa, à l'Est du pays.

Ce projet de partenariat porte sur l'extraction et la transformation du phosphate en acide sulfurique et en acide phosphorique dans la région de Tébessa. Les réserves des mines de phosphate de Tébessa (Djebel Onk et Bled el Hadba) sont évaluées à 2,2 Mds tonnes. La concrétisation de ce projet permettrait de porter la production de minerai de 2 M tonnes/an à 10 M tonnes/an.

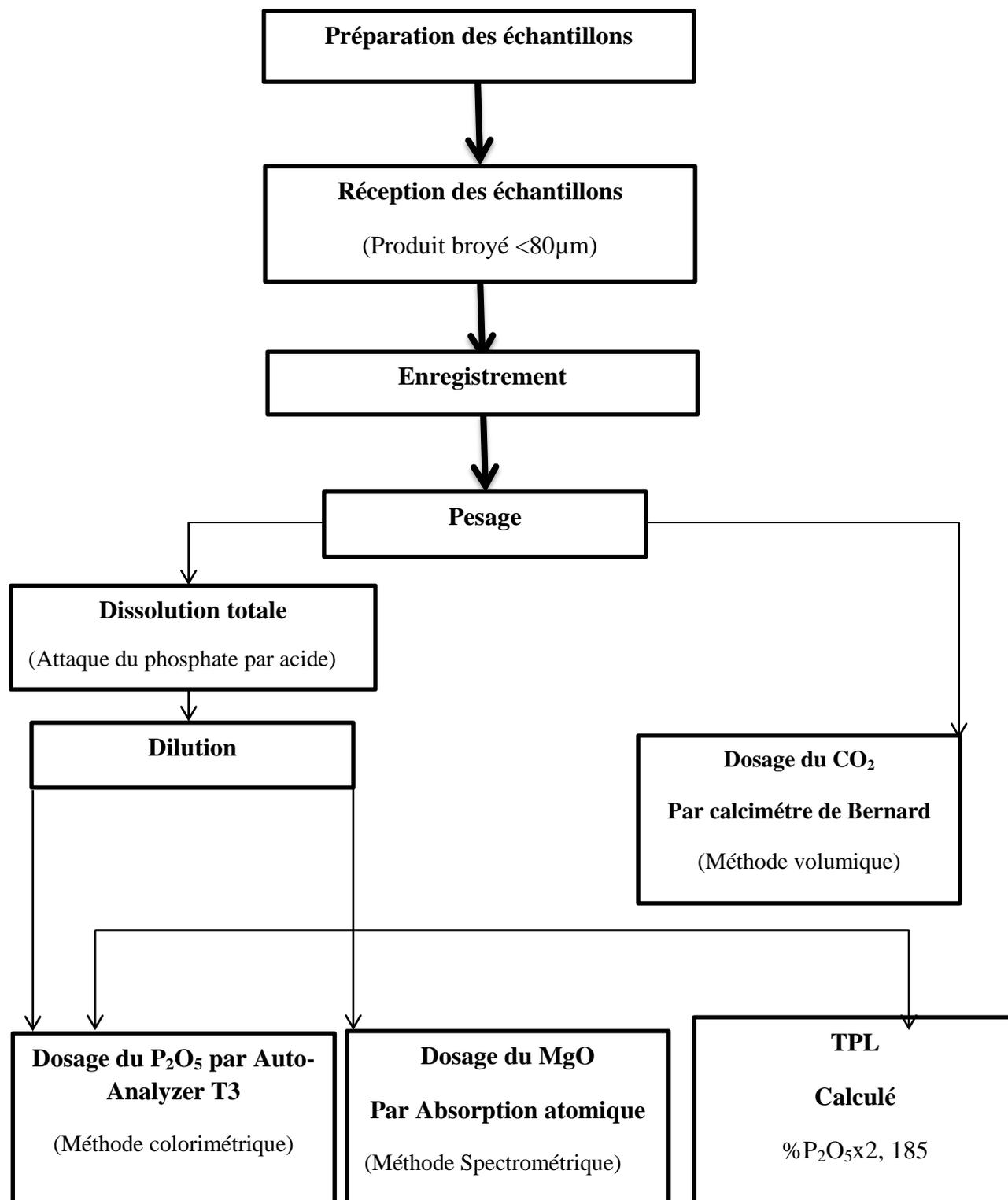
Conclusion

D'après les différents travaux de recherche, nous constatons que la réserve de phosphate brut du col avec Djebel Onk est suffisante pour environ 20 générations.

Il existe deux méthodes de traitement du phosphate de Djebel Onk, par voie sèche et voie humide. Les réserves de phosphate sont importantes, nous devons augmenter la production pour relancer l'économie.

Quant au phosphate, le produit est vendu à des entreprises locales comme ASMIDAL pour produire de l'acide phosphorique et des engrais phosphatés. Ou il est exporté vers des pays et des entreprises étrangers

Chapitre III :
Partie
expérimentale

III. Partie expérimentale.**A. La Composition chimique des différents échantillons.****1) Plan d'analyse des échantillons.****Figure 15 : Schéma préparation des échantillons pour analyse chimique**

2) La Composition chimique des différents échantillons.

Tableau 10 : Différents concentre

Produit 91	Produit dépoussiérée 63/65% TPL
Produit FR	Produit débourbé séché par Four Rotative 63/65 % TPL
Produit B1	Produit débourbé 66/68 % TPL
Produit CAL	Produit calciné 69/72 % TPL

Tableau 11 : La Composition chimique des différents échantillons.

PRODUITS	91 63/65% TPL	FR 63/65 % TPL	B1 66/68 % TPL	CAL 69/72 % TPL
MgO%	0,83	0,82	0,66	1,14
CO₂%	7,01	6,74	6,58	3,86
P₂O₅%	29,95	30,37	30,67	33,05
TPL%	65,44	66,35	67,01	72,21

B. L'Analyse granulométrique.

1) Homogénéisation

Avant le processus d'analyse granulométrique. Nous mélangeons le produit trois fois avec Diviseur manuel. Nous prenons 3 kg de chaque concentré de phosphate.

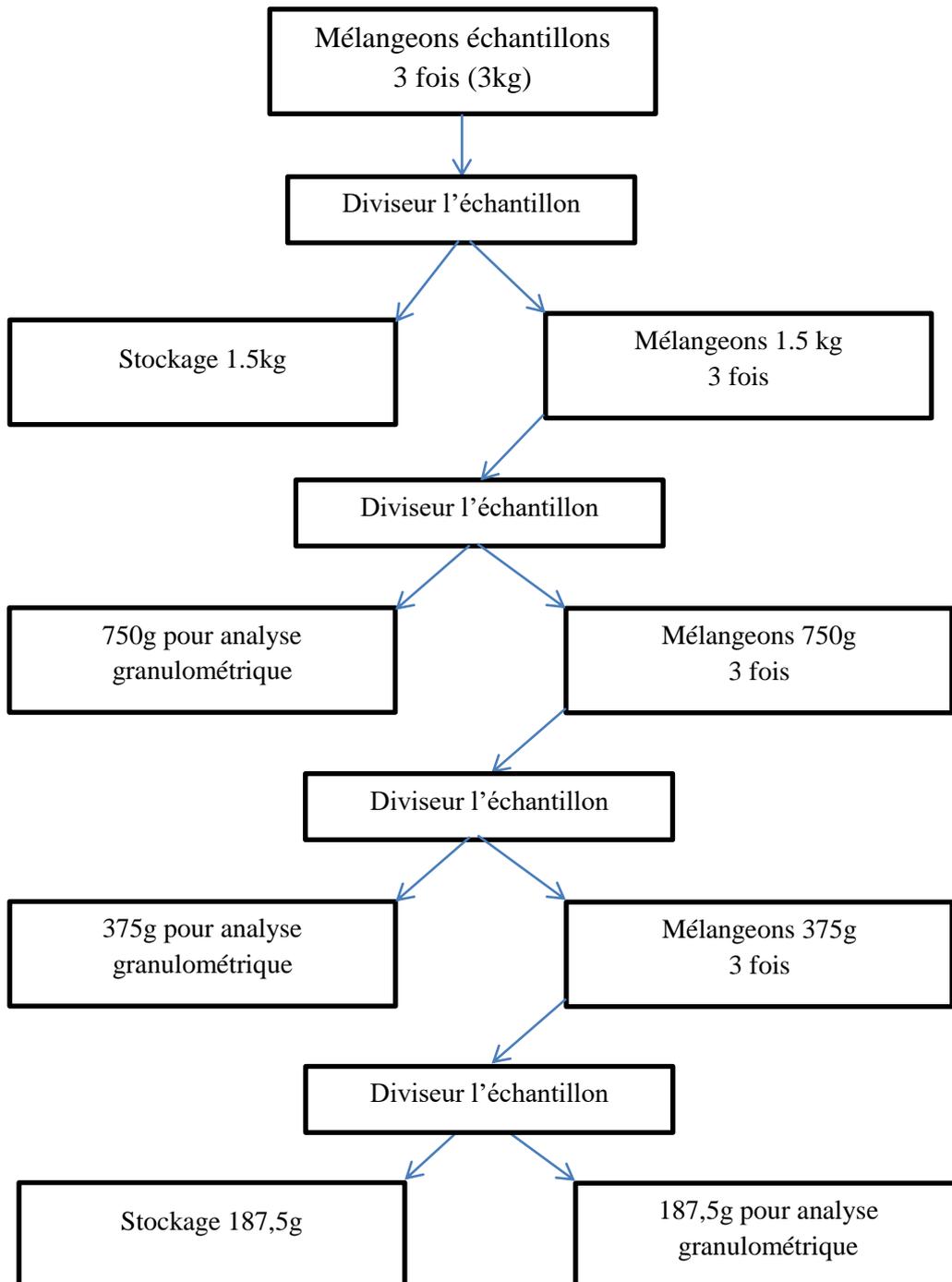
2) Diviseur manuel

Au laboratoire chimique de contrôle de qualité à Bir El Ater, c'est un diviseur manuel qui a été utilisé. Cet appareil facilite la tâche d'homogénéisation de l'échantillon et permet d'en prélever en gramme selon la quantité voulue.



Figure 16 : Photo d'un Diviseur manuel au Labo de Bir El Ater

3) Plan d'analyse granulométrique.

**Figure 17 :** Schéma préparation des échantillons pour analyse granulométrique

4) Tamisage

L'analyse granulométrique est effectuée sur les tamis suivants pour les 4 produits

+1,000mm. +0,800mm. +0,500mm. +0,400mm. +0,315mm. +0,200mm. 0,160mm.
+0,100mm. +0,050mm



Figure 18 : Photo d'un Tamiseuse électrique au Labo de Bir El Ater

5) L'Analyse granulométrique avant le broyage

Tableau 12 : Composition granulométrique des concentrés avant le broyage (91 63/65% TPL)

D (mm)	91 m=750g				91 m=375g				91 m=187,5g			
	Pg	$\gamma\%$	$\Sigma\gamma\downarrow\%$	$\Sigma\gamma\uparrow\%$	Pg	$\gamma\%$	$\Sigma\gamma\downarrow\%$	$\Sigma\gamma\uparrow\%$	Pg	$\gamma\%$	$\Sigma\gamma\downarrow\%$	$\Sigma\gamma\uparrow\%$
-1,250 +1,000	0,8	0,10	0,1	100	0,4	0,1	0,1	100	0,2	0,1	0,1	100
-1,0 +0,80	1,8	0,23	0,33	99,9	0,8	0,22	0,23	99,9	0,4	0,22	0,32	99,9
-0,80 +0,50	33,8	4,50	4,83	99,67	15,5	4,13	4,45	99,68	7,3	3,94	4,26	99,68
-0,50 +0,40	80,6	10,74	15,57	95,17	42,9	11,44	15,89	95,55	21,5	11,45	15,71	95,74
-0,40 +0,315	144,8	19,30	34,87	84,43	71,9	19,17	35,06	84,11	35,3	18,83	34,54	48,29
-0,315 +0,20	289,4	38,59	73,46	65,13	141,8	37,81	72,87	64,94	70,6	37,36	71,9	65,46
-0,20 +0,16	68,9	9,25	82,71	26,54	35,9	9,57	82,44	27,13	20	10,66	82,56	28,1
-0,16 +0,10	104	13,86	96,57	17,29	52,6	14,02	96,46	17,56	23,5	12,53	95,09	17,44
-0,10 +0,05	24,4	3,25	99,82	3,25	12,4	3,36	99,82	3,54	8,3	4,7	99,79	4,91
-0,050	1,4	0,18	100	0,18	0,7	0,18	100	0,18	0,4	0,21	100	0,21
Total	750	100	-	-	375	100	-	-	187,5	100	-	-

Tableau 13 : Composition granulométrique des concentrés avant le broyage (FR63/65 % TPL)

D (mm)	FR m=750g				FR m=375g				FR m=187,5g			
	Pg	$\gamma\%$	$\Sigma\gamma\downarrow\%$	$\Sigma\gamma\uparrow\%$	Pg	$\gamma\%$	$\Sigma\gamma\downarrow\%$	$\Sigma\gamma\uparrow\%$	Pg	$\gamma\%$	$\Sigma\gamma\downarrow\%$	$\Sigma\gamma\uparrow\%$
-1,250 +1,000	11,4	1,51	1,51	100	5,4	1,49	1,49	100	3,3	1,75	1,75	100
-1,0 +0,80	4,3	0,57	2,08	98,49	2	0,54	2,03	98,51	1,1	0,58	2,33	98,25
-0,80 +0,5	27,1	3,62	5,7	97,92	13,9	3,70	5,73	97,97	7	3,73	6,06	97,67
-0,50 +0,40	54,2	7,23	12,93	94,3	28,1	7,49	13,22	94,27	13,7	7,30	13,36	93,94
-0,400 +0,315	97,2	12,95	25,88	87,07	46,3	12,34	25,56	86,78	23	12,30	25,66	86,64
-0,315 +0,200	244,5	32,59	58,47	74,12	123,2	32,85	58,41	74,44	59,8	31,95	57,61	74,34
-0,20 +0,16	83,1	11,09	69,44	41,53	42	11,19	69,6	41,59	22,4	11,94	69,55	42,39
-0,16 +0,10	155,7	20,75	90,31	30,44	76,8	20,46	90,06	30,4	38,1	20,30	89,85	30,45
-0,10 +0,05	65,4	8,75	99,09	9,69	33,7	8,98	99,04	9,94	17,3	9,20	99,05	10,15
-0,050	7,1	0,94	100	0,94	3,6	0,96	100	0,96	1,8	0,95	100	0,95
Total	750	100	-	-	375	100	-	-	187,5	100	-	-

Tableau 14 : Composition granulométrique des concentrés avant le broyage (B1 66/68 % TPL)

D (mm)	B1 m=750g				B1 m=375g				B1 m=187,5g			
	Pg	$\gamma\%$	$\Sigma\gamma\downarrow\%$	$\Sigma\gamma\uparrow\%$	Pg	$\gamma\%$	$\Sigma\gamma\downarrow\%$	$\Sigma\gamma\uparrow\%$	Pg	$\gamma\%$	$\Sigma\gamma\downarrow\%$	$\Sigma\gamma\uparrow\%$
-1,250 +1,000	3,8	0,51	0,51	100	1,9	0,51	0,51	100	1,1	0,59	0,59	100
-1,0 +0,80	3,4	0,45	0,96	99,49	1,7	0,45	0,96	99,49	0,7	0,37	0,96	99,41
-0,80 +0,5	44	5,87	6,83	99,04	21,8	5,22	6,18	99,04	10,3	5,5	6,46	99,04
-0,50 +0,40	124,6	16,62	23,45	93,17	62,9	17,78	23,96	93,82	27,5	14,68	21,14	93,54
-0,400 +0,315	172,6	23,03	46,48	76,55	88,5	23,61	47,57	76,04	42,9	23,79	44,93	78,86
-0,315 +0,200	292,9	39,07	85,55	53,52	142,9	38,10	85,67	52,43	74	38,95	83,88	55,07
-0,20 +0,16	43	5,73	91,28	14,45	22,3	5,80	91,47	14,33	12,9	6,43	90,31	16,12
-0,16 +0,10	46,4	6,19	97,47	8,72	23,5	6,10	97,57	8,53	14,2	7,60	97,91	9,69
-0,10 +0,05	17,8	2,37	99,84	2,53	8,5	2,26	99,83	2,43	3,4	1,92	99,83	2,09
-0,050	1,2	0,16	100	0,16	0,7	0,17	100	0,17	0,3	0,17	100	0,17
Total	749,7	100	-	-	374,7	100	-	-	187,3	100	-	-

Tableau 15 : Composition granulométrique des concentrés avant le broyage (CAL69/72 % TPL)

D (mm)	CAL m=750g				CAL m=375g				CAL m=187,5g			
	Pg	$\gamma\%$	$\Sigma\gamma\downarrow\%$	$\Sigma\gamma\uparrow\%$	Pg	$\gamma\%$	$\Sigma\gamma\downarrow\%$	$\Sigma\gamma\uparrow\%$	Pg	$\gamma\%$	$\Sigma\gamma\downarrow\%$	$\Sigma\gamma\uparrow\%$
-1,250 +1,000	62,4	8,35	8,35	100	32,6	8,69	8,61	100	16,4	8,74	8,74	100
-1,0 +0,80	40	5,33	13,68	91,65	18,9	5,04	13,73	91	7,9	4,21	12,95	91,26
-0,80 +0,5	116,3	15,50	29,18	86,32	52,4	14	27,73	86,27	25,3	13,5	26,45	87,05
-0,50 +0,40	56,7	7,56	36,74	70,82	30,4	8	35,73	72,27	14,5	7,73	34,18	73,55
-0,400 +0,315	52,3	6,97	43,71	63,26	25,8	6,88	42,61	64,27	13,5	7,19	41,37	65,82
-0,315 +0,200	115,8	15,43	59,14	56,29	57,6	15,47	58,08	57,39	28,4	15,45	56,82	58,63
-0,20 +0,16	58,6	7,81	66,95	40,86	28,2	7,52	65,6	41,92	15,2	8,1	64,92	43,18
-0,16 +0,10	172,9	23,05	90	33,05	89,3	23,8	89,4	34,4	45,6	24,30	89,22	35,08
-0,10 +0,05	64,6	8,62	98,62	10	34,3	9,14	98,54	10,6	18	9,34	98,56	10,78
-0,050	10,4	1,38	100	1,38	5,5	1,46	100	1,46	2,7	1,44	100	1,44
Total	750	100	-	-	375	100	-	-	187,5	100	-	-

C. Indices de broyabilité.

1) Lois énergétiques du broyage [19]

Les performances d'une installation de broyage dépendent entre autre des caractéristiques physiques et mécaniques du produit à broyer. La détermination de certaines propriétés physique des matériaux à fragmenter permettre un choix judicieux des appareils de fragmentation et nous donne une idée sur la consommation énergétique et les coûts de l'opération de broyage pour une matière donnée. Ces propriétés sont caractérisées par l'indice de friabilité de Hardgrove et l'indice énergétique de Bond

2) Indice énergétique de Bond [19]

L'indice énergétique, ou indice de broyabilité W_i d'une matière est défini comme l'énergie consommée en kWh/t pour obtenir la réduction totale de cette matière, depuis une dimension initiale théoriquement infinie, jusqu'à obtention de 80 % passant au tamis de 100 μm .

Il peut être calculé à partir de n'importe quel Broyage par voie humide par la relation.

$$W = W_i \left(\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right)$$

Où

W : consommation nette d'énergie en kWh/t

W_i : indice de Bond.

P : la taille passante de 80 % du produit broyé en μm .

F : la taille passante de 80 % de l'alimentation en μm .

Tableau 16 : Indices de corrections

Coefficient multiplicateur de w pour des cas particuliers		
Cas général D'application de la formule	Cas particulier	Coefficient multiplicateur
Broyage par voie humide	Broyage par voie sèche	1.3
\emptyset du broyeur $\approx 2.45 m$	\emptyset du broyeur $\neq 2.45 m$	$(2.45/\emptyset)^{0.2}$
Rapport de fragmentation $I = da/dp \geq 4$	$i \leq 4$	$\frac{i - 1.2}{i - 1.35}$
Circuit fermé	Circuit ouvert avec passant au tamis de $100 \mu m$	
	50 %	1.035
	60 %	1.05
	70 %	1.10
	80 %	1.20
	90 %	1.40
	95 %	1.57
	98 %	1.70

Cet essai est un essai de broyabilité en circuit fermé effectué dans un broyeur à boulets standard. Il peut être effectué aux ouvertures de mailles allant de 28 *mesh* à 40 *mesh*. La taille de finition normale est de 100 *mesh*.

3) Indice de friabilité de Hardgrove [19]

Cette mesure est basée sur la loi de Rittinger qui énonce qu'une estimation de l'énergie E nécessaire au broyage peut être obtenue en écrivant que la valeur de cette énergie est proportionnelle à la différence entre les surfaces spécifiques des grains après et avant le broyage. On a

$$E = K(S_f - S_i)$$

Avec S_f et S_i surfaces spécifiques initiales et finale des grains

K : Constante d'énergie qu'il faut dépenser pour faire apparaître une unité de surface nouvelle qui dépend de la nature du matériau et du mode de fragmentation.

L'objectif de cette méthode était de mesurer empiriquement la difficulté relative du charbon pour obtenir la taille de particules requise pour une combustion complète dans un foyer de chaudière à charbon pulvérisé par la suite, l'utilisation du test de broyabilité Hargrove (HGI) a été étendue à d'autres matériaux

Procédure : Un échantillon de 50 g est introduit dans la piste d'un broyeur vertical à bille à piste de broyage fixe. Huit billes sont placées au-dessus de la matière et l'anneau qui exerce la pression solidaire d'un arbre rotatif est disposé au-dessus des billes. Le broyeur effectue 60 rotations. La matière broyée est tamisée à travers une maille de 0.074 mm (200 *meshs*), la masse du passant m en gramme permet de déterminer l'indice HARDGROVE (HGI) à partir de la relation :

$$HGI = 13 + 6,93 m$$

m : masse du produit passant à travers le tamis 0.074 mm en *gramme*

Plus élevé est la valeur de HGI meilleur est la broyabilité

Pour la transformation de l'indice HGI en indice de Bond en utilise les formules de transformation suivantes :

$$Wi = \frac{88}{HGI^{0,5}} \quad (\text{Elaborée par Bonde 1951})$$

$$Wi = \frac{435}{HGI^{0,91}} \quad (\text{Modifiée par Bonde 1961})$$

En 1971, l'indice de broyabilité de Hardgrove a été calculé par la norme ASTM à partir de l'équation d'une droite. Celle-ci a été établie à l'aide de quarts échantillons standards de charbon importé de la société pour les essais et les matériaux ne pas les indices respectifs de Hardgrove (HGI) sont : 43, 61, 80 et 103. La détermination des poids des passants à 74 micromètres après broyage permet l'étalonnage de la matière expérimentée aux normes ASTM. Valeurs obtenues

Tableau 17 : Indices d'Hardgrove suivant le poids du passant

Indices de Hardgrove	Poids du passant à 74μm (m)
43	4.89
61	7.04
80	9.52
103	13.05

L'équation de la droite $HGi = f(P)$ est

$$HGI = 8.13 + 7.35m$$

D. Broyage des échantillons

1) Le broyage. [19]

Le broyage du phosphate est une des étapes déterminante du procédé de fabrication de l'acide phosphorique car à ce niveau la consommation de l'énergie atteint son maximum.

Le broyage a pour but l'augmentation de la surface d'attaque du minerai, la réaction chimique est d'autant plus facile que la surface offerte aux réactifs est plus grande. Pour cette raison Le broyage est une opération qui présente une importance particulière en effet :

- Un broyage insuffisant, conduit à une attaque très difficile, un temps de réaction très élevé, et un rendement plus bas.
- Un phosphate sur broyé conduit au contraire à un degré de décomposition plus élevé, et provoque une attaque très poussée, ce qui conduit à augmenter la température et à obtenir un semi-hydrate plus stable.

Le broyage pourrait être optimisé par une meilleure connaissance de la distribution spatiale de la broyabilité des phosphates

Afin d'augmenter le rendement énergétique et d'éviter le sur-broyage, on élimine dès la sortie du broyeur les grains de finesse suffisante.

2) Broyeur à mortier Pulverisette 2 FRITSCH [20]

Le broyeur PULVERISETTE 2 convient au mélange de matériaux voie sèche ou de voie humide. La durée de mélange et de broyage est réduite, les tâches répétables en toute fiabilité.

Spécifications du broyeur : Pour des granulométries finales comprises entre 10 et 20 μm , avec une taille initiale de 6 – 8 mm et une quantité maximum. De chargement de 190 ml.

a) Fonctionnement

Le principe du broyeur à mortier est le plus vieux principe de broyage du monde : le pilon fractionne l'échantillon en douceur en exerçant pression et friction sur les bords et sur le fond du mortier

Parmi les prérogatives de l'appareil : Un effritement, un mélange, une homogénéisation particulièrement homogène et préservant les échantillons organiques et inorganiques, sans contrainte thermique – à sec ou en suspension, à une vitesse de 70 à 80 tr/min

b) Broyeur utilisé

- ✓ Type de broyeur : broyeur à mortier
- ✓ Principe de fonctionnement : Friction
- ✓ Matériau préférentiel : dur, mi-dur, mou, cassant, fibreux, abrasif et sensible à la tempérâtes
- ✓ Vitesse de rotation : 70-80 *tr/min*
- ✓ Diamètre cuve de mortier \varnothing : intérieur - 130 mm
- ✓ Diamètre cuve de mortier \varnothing : extérieur - 200 mm
- ✓ Puissance du moteur: 3 KW / 200-240 V
- ✓ Taille initiale max : 8mm
- ✓ Quantité (min ; max). d'échantillon : (10-190) cm^3
- ✓ Granulométrie finale : 10 - 20 μm

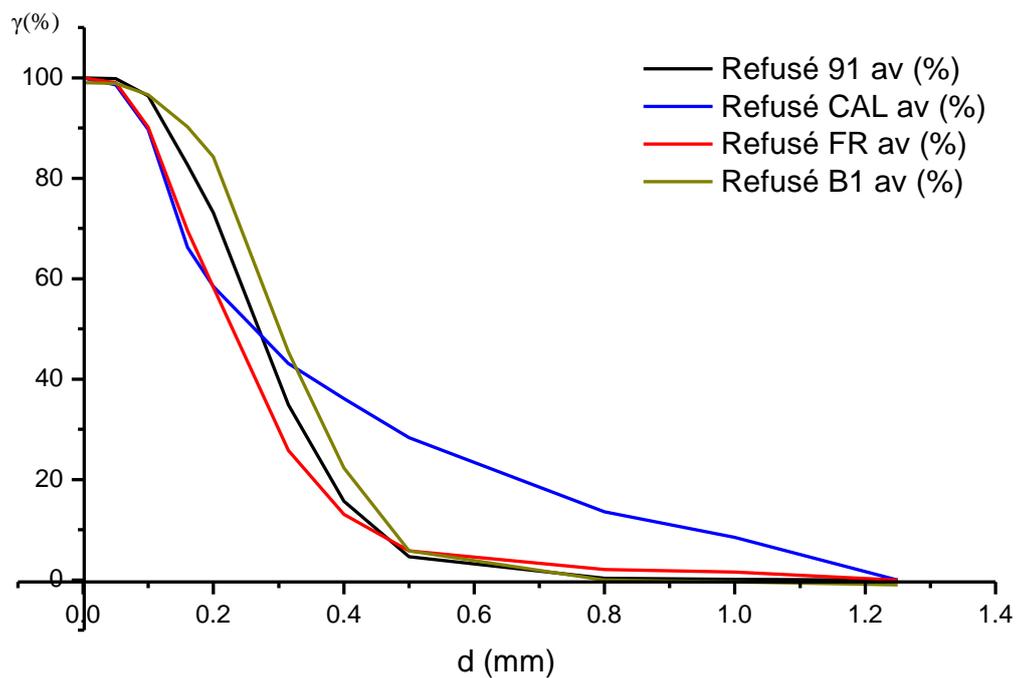


Figure 19 : Photo d'un Broyeur à mortier Pulverisette 2 FRITSCH au labo de Bir El Ater

3) L'Analyse granulométrique après le broyage

Tableau 18 : Composition granulométrique des concentrés avant le broyage (moyen de quartage)

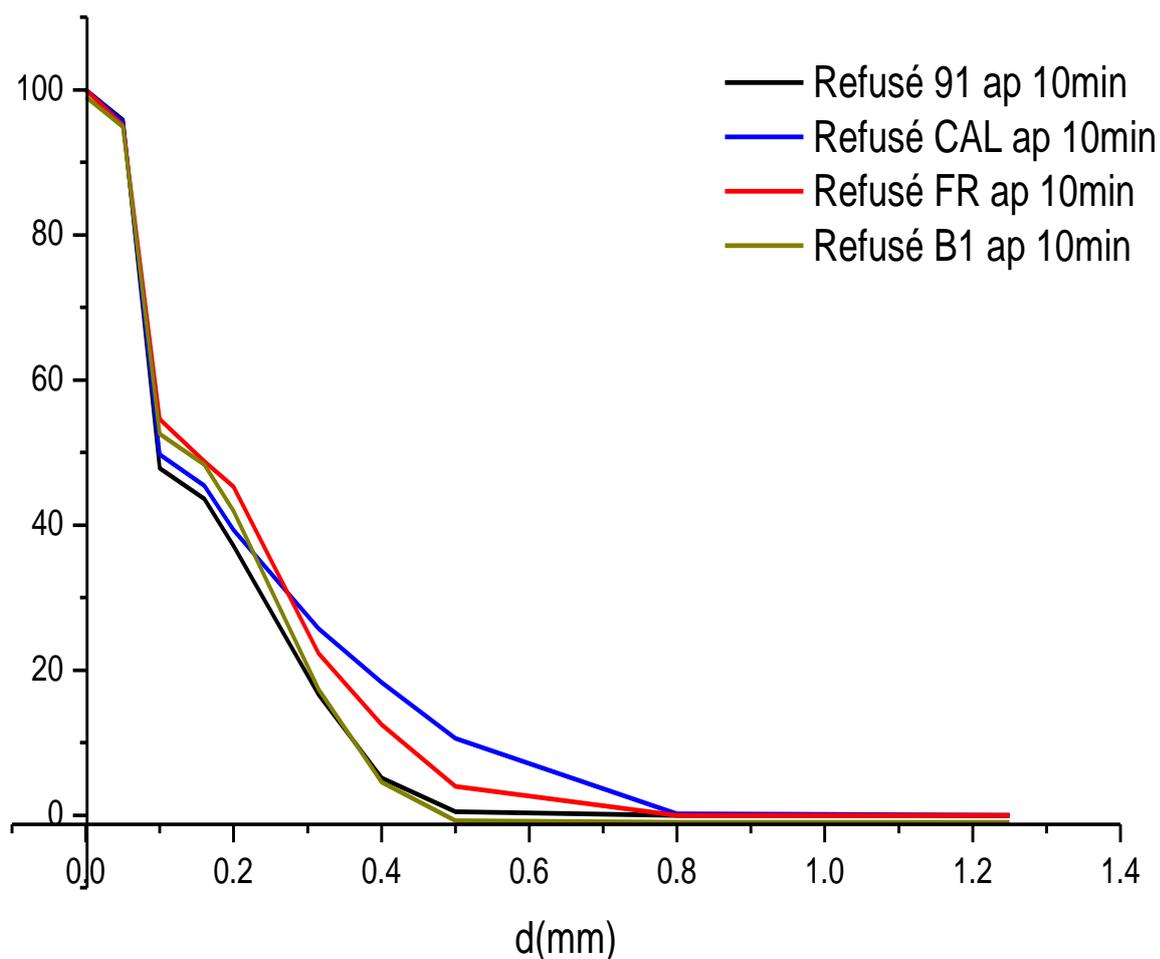
moyen	91 - 63/65% TPL				FR - 63/65 % TPL				B1 - 66/68 % TPL				CAL - 69/72 % TPL				
	d (mm)	P(g)	γ (%)	$\Sigma\gamma$ ↓ (%)	$\Sigma\gamma$ ↑ (%)	P(g)	γ (%)	$\Sigma\gamma$ ↓ (%)	$\Sigma\gamma$ ↑ (%)	P(g)	γ (%)	$\Sigma\gamma$ ↓ (%)	$\Sigma\gamma$ ↑ (%)	P(g)	γ (%)	$\Sigma\gamma$ ↓ (%)	$\Sigma\gamma$ ↑ (%)
-1,25	+1	0,46	0,11	0,11	100	6,7	1,53	1,53	100	2,26	0,52	0,52	100	37,13	8,49	8,49	100
-1	+0,8	1	0,23	0,34	99,89	2,47	0,56	2,09	98,47	1,83	0,42	0,72	99,48	22,26	5,09	13,58	91,51
-0,8	+0,5	18,86	4,31	4,65	99,66	16	3,66	5,75	97,91	25,36	5,78	6,72	99,06	64,6	14,77	28,35	86,42
-0,5	+0,4	48,33	11,05	15,7	95,35	32	7,3	13,06	94,25	72,16	16,50	23,22	93,28	33,87	7,74	36,09	71,65
-0,4	+0,315	84	19,20	34,90	84,3	55,5	12,69	25,75	86,94	101,33	23,17	46,39	76,78	30,53	6,98	43,07	63,91
-0,315	+0,2	167,26	38,24	73,14	65,1	142,5	32,57	58,32	74,25	169,83	38,83	85,22	53,61	67,26	15,38	58,45	56,93
-0,2	+0,16	41,6	9,52	82,66	26,86	49,16	11,24	69,56	41,68	26,06	5,96	91,18	14,78	34	7,77	66,22	41,55
-0,16	+0,1	60,03	13,72	96,38	17,34	90,2	20,62	90,18	30,44	28,03	6,41	97,59	8,82	102,6	23,46	89,68	33,78
-0,1	+0,05	15,03	3,43	99,81	3,62	38,8	8,87	99,05	9,82	9,8	2,24	99,83	2,41	38,97	8,91	98,59	10,32
-0,05		0,83	0,19	100	0,19	4,16	0,95	100	0,95	0,73	0,17	100	0,17	6,2	1,41	100	1,41
total		437,4	100	-	-	437,49	100	-	-	437,39	100	-	-	437,42	100	-	-



Graphe 01: Courbe d'analyse granulométrique des concentrés avant le broyage

Tableau 19 : Composition granulométrique des concentrés après le broyage

moyen	91 - 63/65% TPL				FR - 63/65 % TPL				B1 - 66/68 % TPL				CAL - 69/72 % TPL				
	d (mm)	P(g)	γ (%)	$\Sigma\gamma\uparrow$ (%)	P(g)	γ (%)	$\Sigma\gamma\uparrow$ (%)	$\Sigma\gamma\uparrow$ (%)	P(g)	γ (%)	$\Sigma\gamma\uparrow$ (%)	$\Sigma\gamma\uparrow$ (%)	P(g)	γ (%)	$\Sigma\gamma\uparrow$ (%)	$\Sigma\gamma\uparrow$ (%)	
-1,25	+1	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0,10	0,10	0,10	100
-1	+0,8	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0,10	0,10	0,20	99,90
-0,8	+0,5	0,7	0,7	0,7	100	4	4	4	100	0,20	0,20	0,20	100	10,40	10,40	10,60	99,80
-0,5	+0,4	4,7	4,7	5,4	99,3	8,5	8,5	12,5	96	5,30	5,32	5,52	99,80	7,70	7,70	18,30	89,40
-0,4	+0,315	11,7	11,7	17,1	94,6	9,8	9,8	22,3	87,5	12,70	12,75	18,27	94,48	7,40	7,40	25,70	81,70
-0,315	+0,2	24,6	24,6	41,7	82,9	23	23	45,3	77,7	24,50	24,60	42,87	81,73	13,60	13,60	39,30	74,30
-0,2	+0,16	7,5	7,5	49,2	58,3	3,5	3,5	48,8	54,7	6,40	6,43	49,30	57,13	6,10	6,10	54,40	60,70
-0,16	+0,1	4,6	4,6	53,8	50,8	5,8	5,8	54,6	51,2	4,20	4,22	53,52	50,70	4,30	4,30	49,70	54,60
-0,1	+0,05	42,9	42,9	96,7	46,2	40,5	40,5	95,1	45,4	42,20	42,30	95,82	46,48	45,90	45,90	95,60	50,30
-0,05		3,3	3,3	100	3,3	4,9	4,9	100	4,9	4,1	4,18	100	4,18	4,40	4,40	100	4,40
total		100	100	-	-	100	100	-	-	99,60	100	-	-	100	100	-	-



Graph 02: Courbe d'analyse granulométrique des concentrés après le broyage

4) Poids du passant à la maille

Tableau 20 : Poids du passant à la maille (0.074 mm et 0.1mm)

Concentré	91 63/65 TPL%	FR 63/65 TPL%	B1 66/68 TPL %	CAL 69/72 TPL%
Masse du passant à 74 μm en g	27,68	32,80	35,03	26,58
Masse du passant à 100 μm en %	46,20	45,40	46,29	50,30

E. Calcul de l'indice de broyabilité.

1) Calcul de l'indice de broyabilité du produit 91.63/65 TPL%.

- Indice de friabilité de Hardgrove.

$$HGI_{(91)} = 8.13 + 7.35m$$

$$m = 27,68g$$

$$HGI_{(91)} = 8.13 + 7.35(27,68) \Rightarrow HGI_{(91)} = 211,58$$

- Indice de Bond

$$Wi = \frac{435}{HGI_{(91)}^{0,91}} \Rightarrow Wi = \frac{435}{211,58^{0,91}}$$

$$Wi = 3,33 \text{ kwh/t}$$

- Coefficient multiplicateur de w pour des cas particuliers
 - ✓ Circuit ouvert : 46,20% passant (Coefficient multiplicateur = 0,95)
 - ✓ Ø du tambour : 130 mm $((2,45/\text{Ø})^{0,2} = 1,8)$
 - ✓ Broyage par voie sèche (Coefficient multiplicateur = 1.3)

Le résultat de l'indice coarcté

$$Wi_{(corrigé)} = 3,33 \times 0,95 \times 1,8 \times 1,3$$

$$Wi_{(corrigé)} = 7,40 \text{ kwh/t}$$

2) Calcul de l'indice de broyabilité du produit FR 63/65 TPL%.

- Indice de friabilité de Hardgrove.

$$HGI_{(FR)} = 8.13 + 7.35m$$

$$m = 32,80g$$

$$HGI_{(FR)} = 8.13 + 7.35(32,80) \Rightarrow HGI_{(FR)} = 249,21$$

- Indice de Bond

$$Wi = \frac{435}{HGI_{(FR)}^{0,91}} \Rightarrow Wi = \frac{435}{249,21^{0,91}}$$

$$Wi = 2,87 \text{ kwh/t}$$

- Coefficient multiplicateur de w pour des cas particuliers
- ✓ Circuit ouvert : 45,40 % passant (Coefficient multiplicateur = 0,94)
- ✓ Ø du tambour : 130 mm $((2,45/\text{Ø})^{0,2} = 1,8)$
- ✓ Broyage par voie sèche (Coefficient multiplicateur = 1.3)

Le résultat de l'indice coarcté

$$Wi_{(\text{corrigé})} = 2,87 \times 0,94 \times 1,8 \times 1,3$$

$$Wi_{(\text{corrigé})} = \mathbf{6,31 \text{ kwh/t}}$$

3) Calcul de l'indice de broyabilité du produit B1 66/68 TPL %.

- Indice de friabilité de Hardgrove.

$$HGI_{(B1)} = 8.13 + 7.35m$$

$$m = 35,03g$$

$$HGI_{(B1)} = 8.13 + 7.35(26,58) \Rightarrow HGI_{(B1)} = 265,60$$

- Indice de Bond

$$Wi = \frac{435}{HGI_{(B1)}^{0,91}} \Rightarrow Wi = \frac{435}{265,60^{0,91}}$$

$$Wi = 2,71 \text{ kwh/t}$$

- Coefficient multiplicateur de w pour des cas particuliers
- ✓ Circuit ouvert : 46,29% passant (Coefficient multiplicateur = 0,96)
- ✓ Ø du tambour : 130 mm $((2,45/\text{Ø})^{0,2} = 1,8)$
- ✓ Broyage par voie sèche (Coefficient multiplicateur = 1.3)

Le résultat de l'indice coarcté

$$Wi_{(\text{corrigé})} = 2,71 \times 0,96 \times 1,8 \times 1,3 \quad \mathbf{Wi_{(\text{corrigé})} = 6,09 \text{ kwh/t}}$$

4) Calcul de l'indice de broyabilité de la prouduit CAL 66/68 TPL %.

- Indice de friabilité de Hardgrove.

$$HGI_{(CAL)} = 8.13 + 7.35m$$

$$m = 26,58g$$

$$HGI_{(CAL)} = 8.13 + 7.35(26,58) \Rightarrow HGI_{(CAL)} = 203,49$$

- Indice de Bond

$$Wi = \frac{435}{HGI_{(CAL)}^{0,91}} \Rightarrow Wi = \frac{435}{203,49^{0,91}}$$

$$Wi = 3,45 \text{ kwh/t}$$

- Coefficient multiplicateur de w pour des cas particuliers
- ✓ Circuit ouvert : 50,30 % passant (Coefficient multiplicateur = 1,041)
- ✓ Ø du tambour : 130 mm $((2,45/\text{Ø})^{0,2} = 1,8)$
- ✓ Broyage par voie sèche (Coefficient multiplicateur = 1.3)

Le résultat de l'indice coarcté

$$Wi_{(\text{corrigé})} = 3,45 \times 1,041 \times 1,8 \times 1,3$$

$$Wi_{(\text{corrigé})} = \mathbf{8,40 \text{ kwh/t}}$$

F. Présentation des résultats des mesures

1) Récapitulatif des tous les résultats

Tableau 21 : Récapitulatif des résultats

Concentré	Masse du passant à 74 μm en g	HGI	Wi (KWh/t)	Wi (corrigé) (KWh/t)
B1 66/68 TPL %	35,03	265,60	2,71	6,09
FR 63/65 TPL%	32,80	249,21	2,87	6,31
91 63/65 TPL%	27,68	211,58	3,33	7,40
CAL 69/72 TPL%	26,58	203,49	3,45	8,40

2) Récapitulatif Wi (corrigé)

Tableau 22 : Classement l'indice de broyabilité pour les différents concentrés de phosphate Cas de " D-O"

Concentré	Wi (corrigé) (KWh/t)
B1 66/68 TPL %	6.09
FR 63/65 TPL%	6.31
91 63/65 TPL%	7.40
CAL 69/72 TPL%	8.40

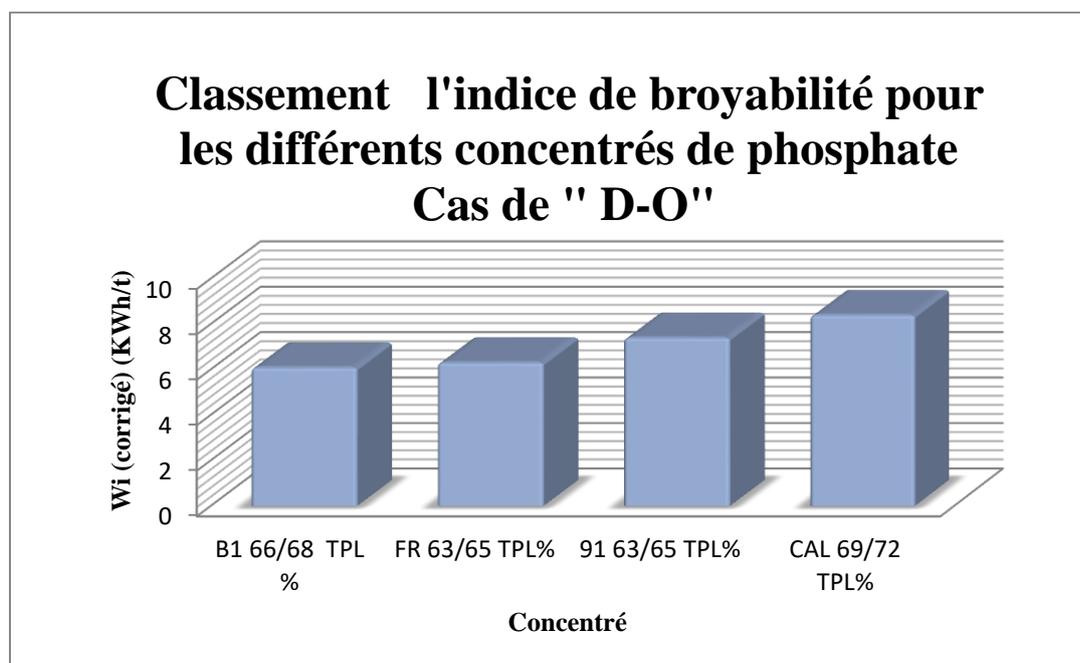


Figure 20 : Classement l'indice de broyabilité pour les différents concentrés de phosphate

3) Indices de bond des phosphates à travers le monde [19]

Tableau 23 : Indices des phosphates à travers le monde

Concentré du phosphate	HGI	Wi
Floride USA	49	12.6
Youssoufia (66/68% TPL) Maroc	49	12.6
Algérien D-O CAL 69/72 TPL%	265,6	8.4
Phosphate du Togo	80	8.1
Kalaa Djarda Tunisie	81	8
Algérien D-O 91 63/65 TPL%	211,58	7.4
Khouribga 75 Maroc	92	7.1
Moulares Redeyef Tunisie	96	6.9
M'Dilla Tunisie	96	6.9
Khouribga 72 Maroc	100	6.6
Algérien D-O FR 63/65 TPL%	265.6	6.4
Algérien D-O B1 66/68 TPL %	249.21	6.09
M'Rata Tunisie	113	5.6

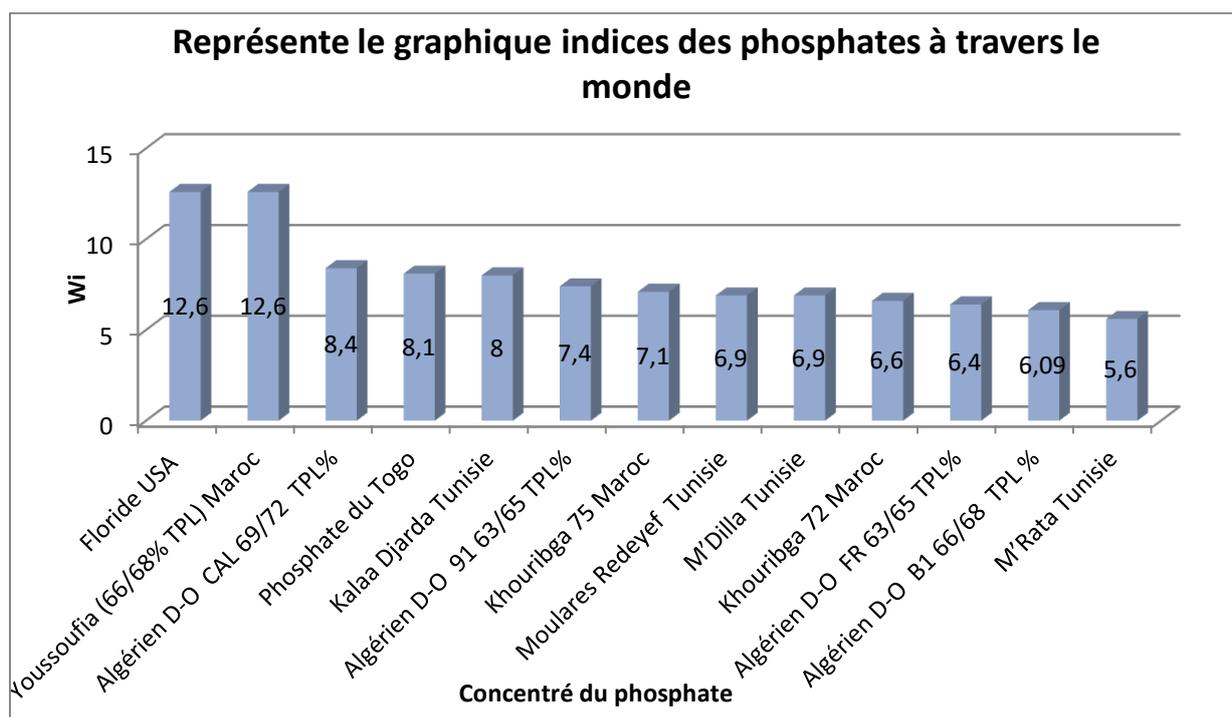


Figure 21 : Représente le graphique indices des phosphates à travers le monde

4) Indice énergétique de Bond de divers matériaux [19]

Tableau 24 : Indice énergétique de Bond de divers matériaux

Indice énergétique de Bond de divers matériaux			
Matériau	Indice kwh/t	Matériau	Indice kwh/t
Barytine	4.73		
B1 66/68 TPL %	6.09	Dolomie	11.27
FR 63/65 TPL%	6.31	Minerai de Zinc	11.56
Gypse	6.73	Verre	12.31
91 63/65 TPL%	7.40	Calcaire	12.54
CAL 69/72 TPL%	8.40	Minerai de Cuivre	12.73
Fluorine	8.91	Hématite	12.93
Pyrite	8.93	Quartz	13.57
Quartzite	9.58	Minerai d'or	14.93
Magnétite	9.97	Granite	15.05
Minerai Plomb-Zinc	10.57	Graphite	43.56
Feldspath	10.80	Emeri	56.70

5) Diverses expériences sur les phosphates pour calculer l'indice de broyabilité [21]

Tableau 25 : Diverses expériences sur les phosphates pour calculer l'indice de broyabilité

Source	Engrais phosphaté	Phosphate rock
1	-	10.9
2	-	10.5
3	-	9.9
3	-	10.9
4	-	11
5	-	11
6	16.5	13.6
6-(B1-FR-91-CAL)	12-30	3-(6.09-6.31-7.4-8.4)-25
6-(B1-FR)	6-(6.09-6.31)	36

Source 1: Rapporté par Fred Bond

Source 2: Outokumpu, la science de la comminution

Source 3: Équipements et pipelines

Source 4: Broyeurs Tenova Bateman (AG / SAG, Rod, Ball Mills)

Source 5: Doering international GmbH www.cylpebs.com

Source 6: Manuel PME de traitement des minéraux, N.L Weiss Editor, NY 1985

6) Simuler les résultats

Pour connaître l'énergie nécessaire pour broyer chaque produit (**B1, 91, FR, CAL**) pour fabriquer de l'acide phosphorique, nous effectuons des simulations informatiques à l'aide d'un en utilisant le logiciel **MODSIM**.

(Modular Simulator for ore Dressing Plants _traduit en français par : Simulateur Modulaire pour les usines de traitement de minerai).

a) La production d'acide phosphorique par le biais de ce procédé comprend six étapes successives : [22]

- ✓ Broyage du phosphate
- ✓ Attaque sulfurique
- ✓ Filtration du gypse
- ✓ Concentration de l'acide
- ✓ Récupération de H_2SiF_6 et purification

b) Un exemple d'importance l'indice broyabilité dans l'usine

Nous dessinons un Schéma. Le processus de Broyage est dans le diagramme (Broyeur à Boulet, Mixer et classificateur "hydro -cyclone"), Les paramètres de chaque machine doivent être spécifiés

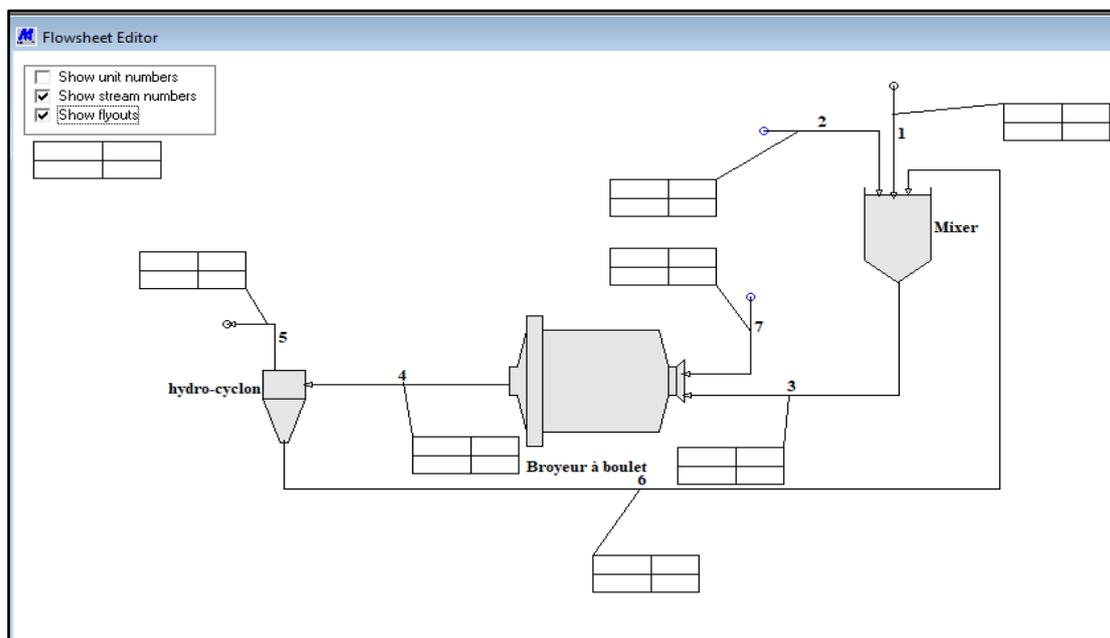


Figure 22 : Schéma du Broyage utilisé dans le logiciel **MODSIM** (Avant simulation)

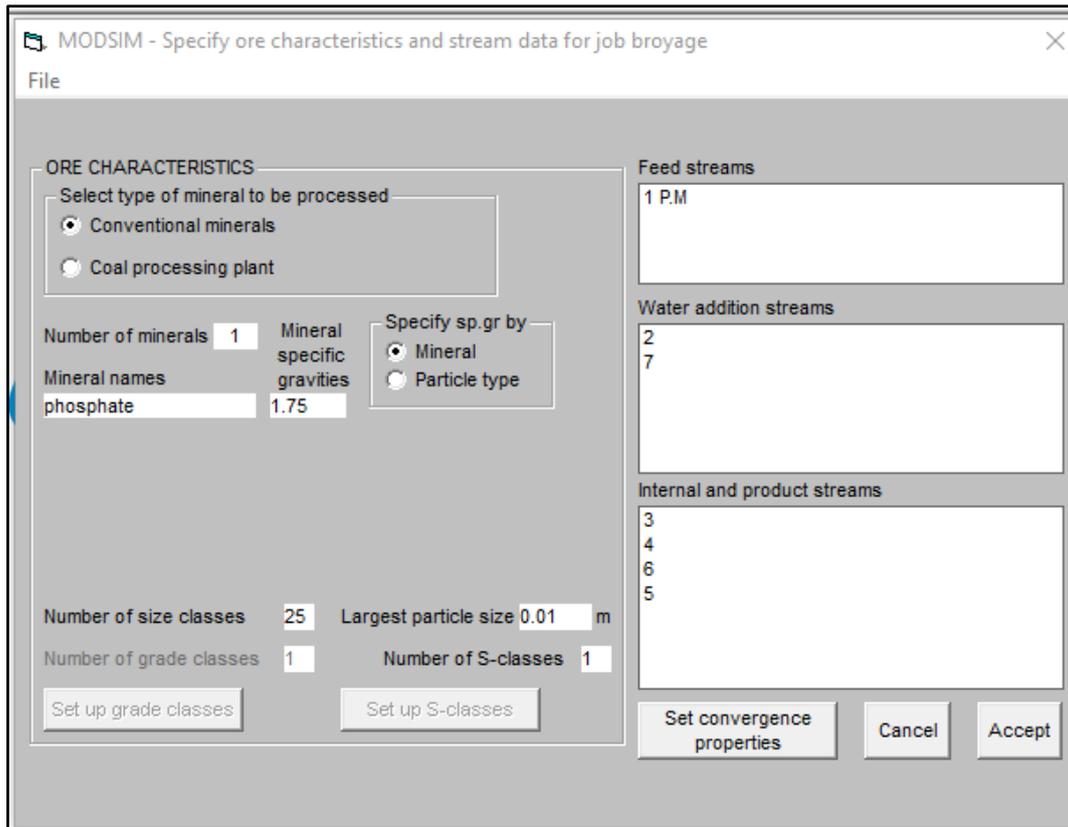


Figure 23 : Principaux Paramètres du minerai dans le logiciel MODSIM

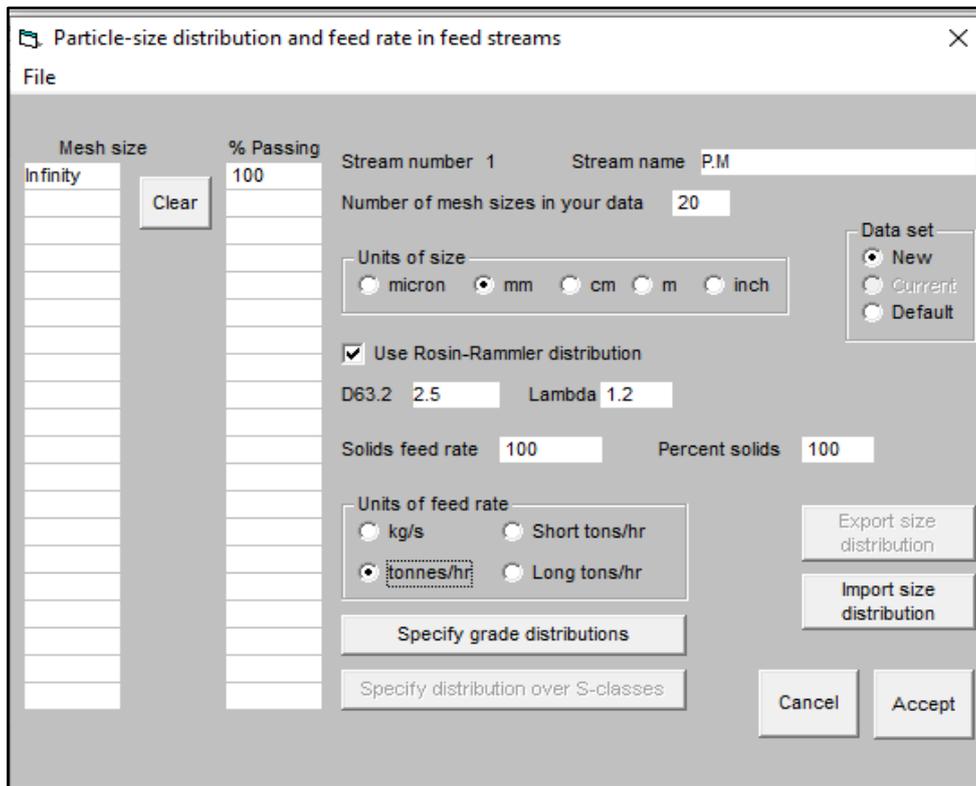


Figure 24 : Paramètres d'alimentation dans le logiciel MODSIM

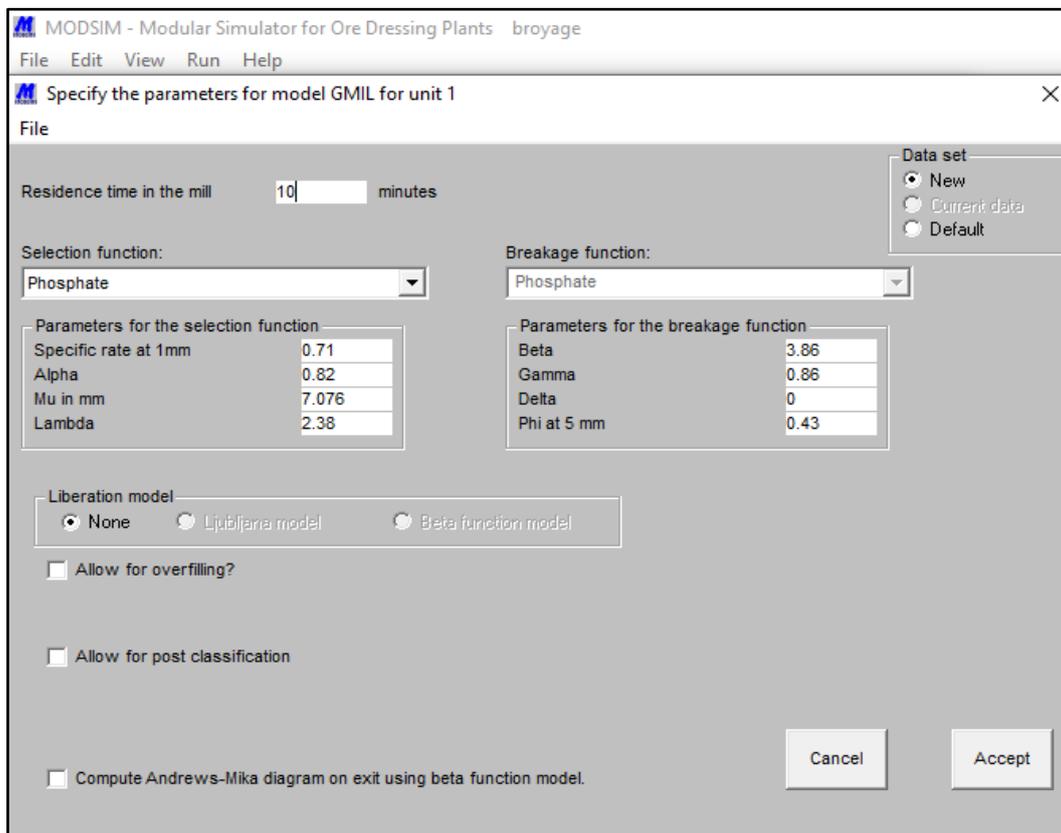
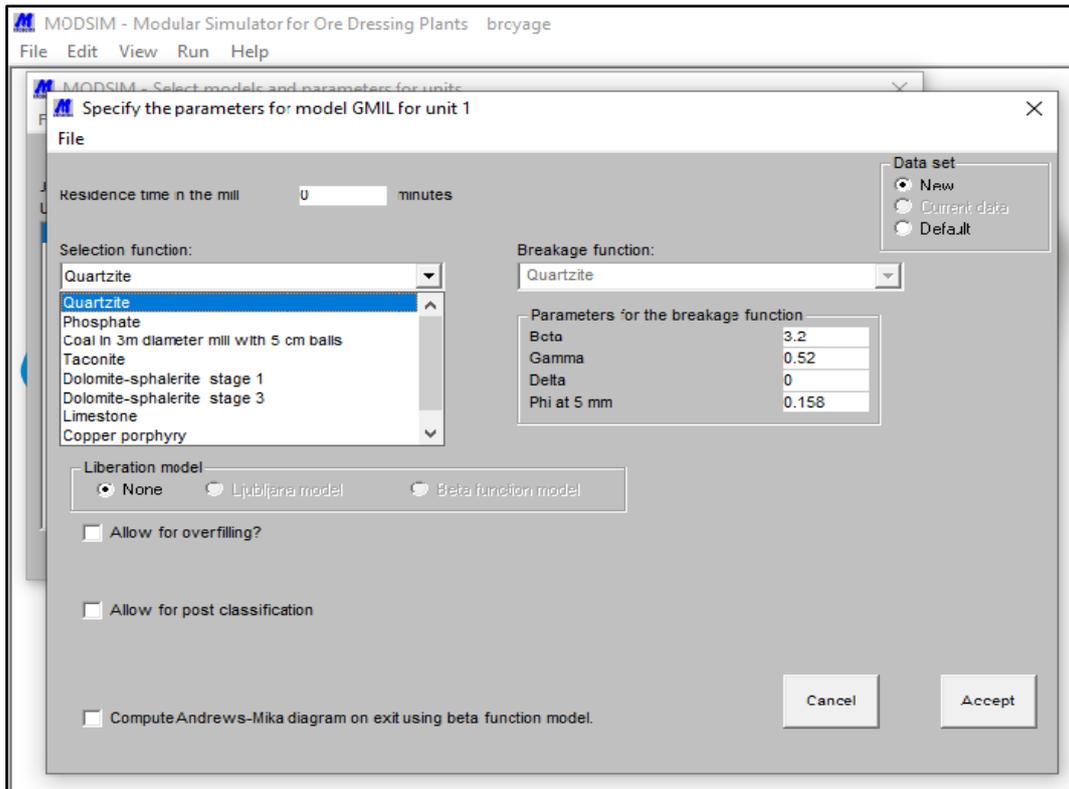


Figure 25 : Paramètres du broyeur model GMIL dans le logiciel MODSIM

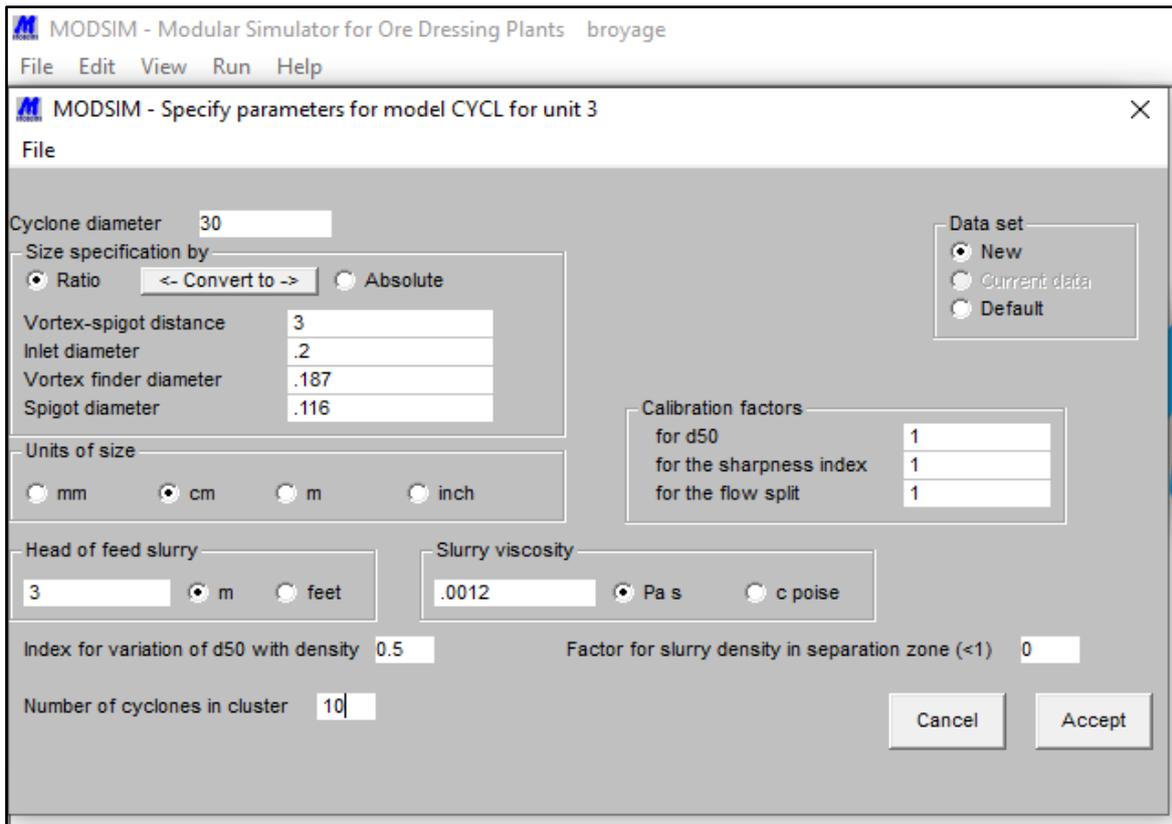


Figure 26 : Paramètres du hydro-cyclone model CYCL dans le logiciel MODSIM

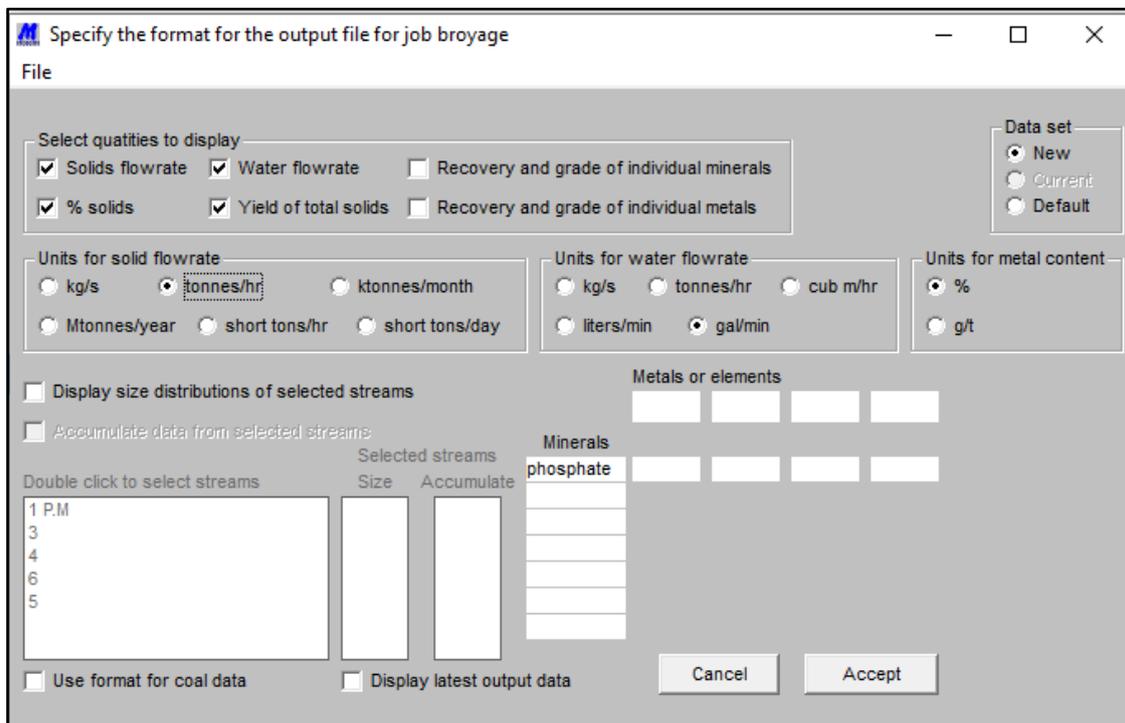


Figure 27 : Le format du fichier de sortie pour le travail dans le logiciel MODSIM

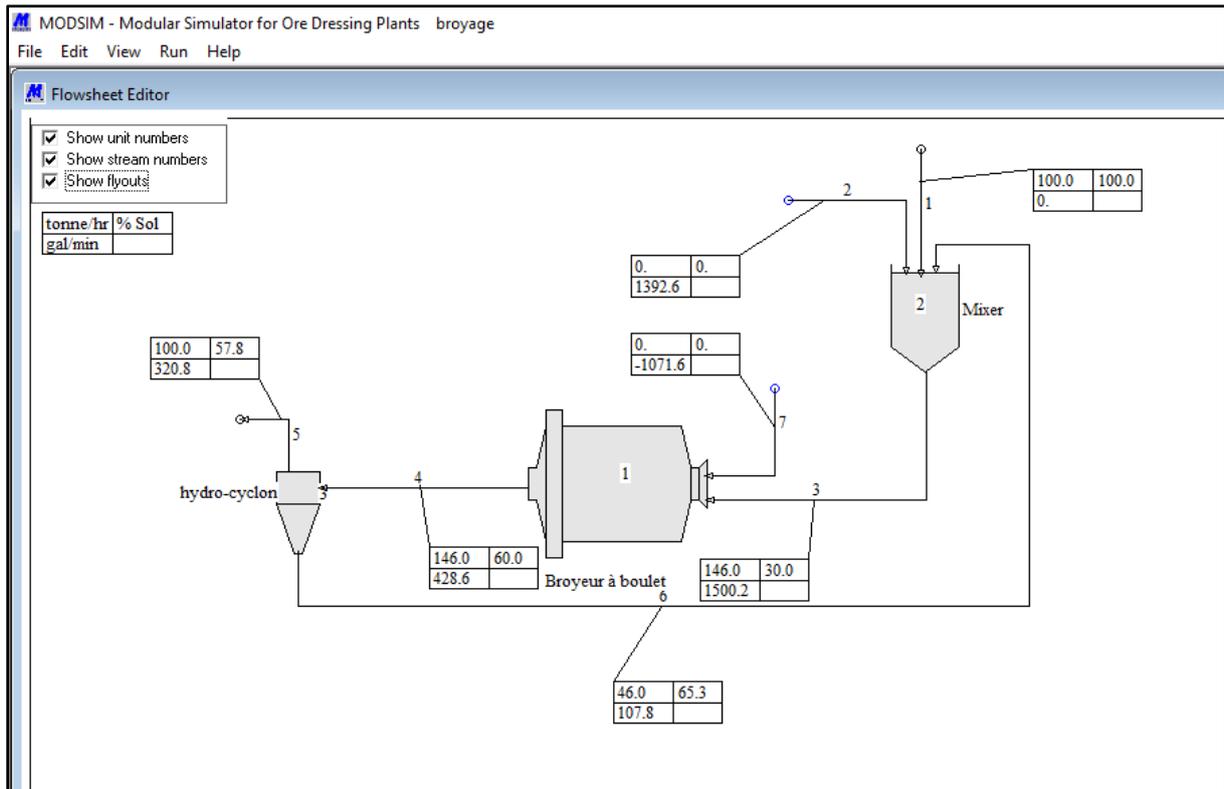


Figure 28 : Schéma du Broyage utilisé dans le logiciel MODSIM (après simulation)

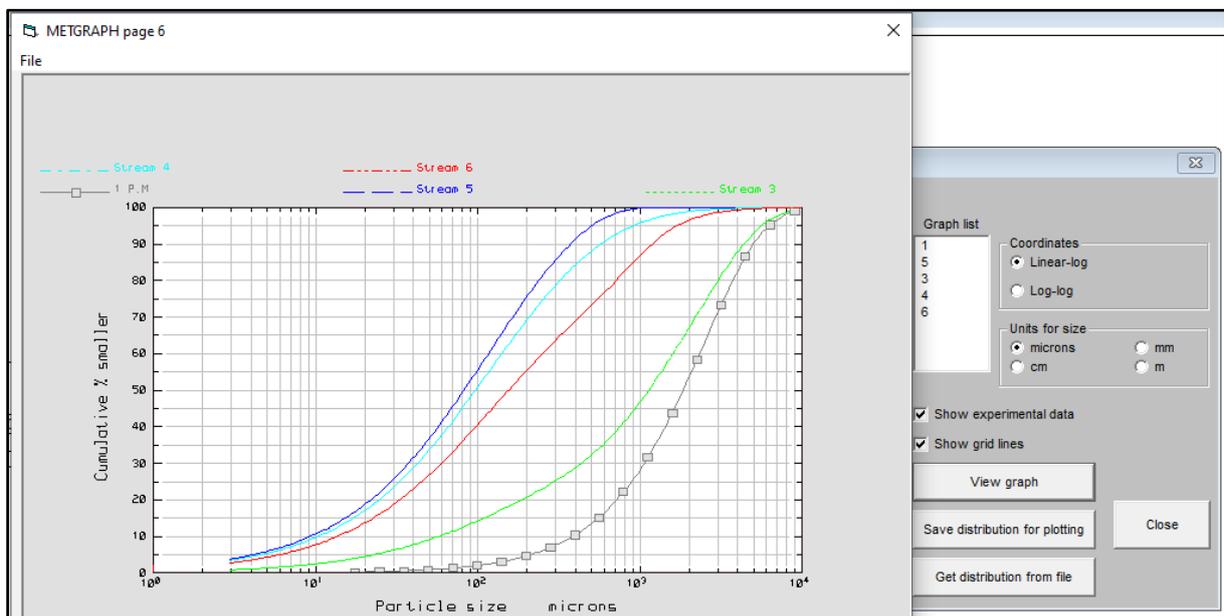


Figure 29 : Les Courbes de distribution granulométrique (1- alimentation. 3- sortir mixer. 4- sortir broyeur. 5- surverse. 6- souverse.)

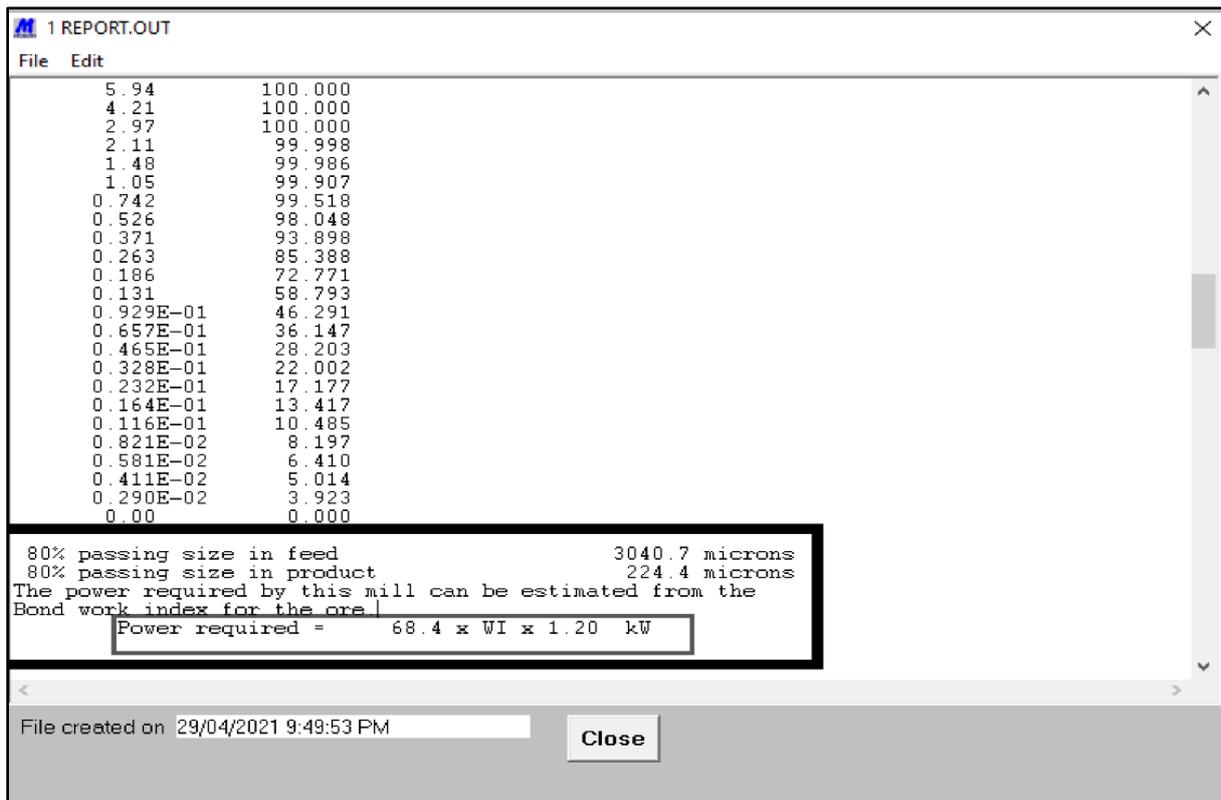


Figure 30 : Rapport de fichier de consommation d'énergie ($t_B=10\text{min}$)

c) Calculez l'énergie consommée pour Quatre Concentré ($t_B=10\text{min}$)

Nous avons de logiciel $P = 68.4 \times WI \times 1.2$

Calcul la consommation d'énergie pour **(B1 66/68 TPL %)**

$$P_{B1} = 68.4 \times WI \times 1.2 \quad \Rightarrow \quad P_{B1} = 68.4 \times 6.09 \times 1.2 \quad \Rightarrow \quad P_{B1} = 499.86 \text{ KW}$$

Calcul la consommation d'énergie pour **(FR 63/65 TPL%)**

$$P_{FR} = 68.4 \times WI \times 1.2 \quad \Rightarrow \quad P_{FR} = 68.4 \times 6.31 \times 1.2 \quad \Rightarrow \quad P_{FR} = 517.92 \text{ KW}$$

Calcul la consommation d'énergie pour **(91 63/65 TPL%)**

$$P_{91} = 68.4 \times WI \times 1.2 \quad \Rightarrow \quad P_{91} = 68.4 \times 7.40 \times 1.2 \quad \Rightarrow \quad P_{91} = 607.39 \text{ KW}$$

Calcul la consommation d'énergie pour **(CAL 69/72 TPL%)**

$$P_{CAL} = 68.4 \times WI \times 1.2 \quad \Rightarrow \quad P_{CAL} = 68.4 \times 6.09 \times 1.2 \quad \Rightarrow \quad P_{CAL} = 689.47 \text{ KW}$$

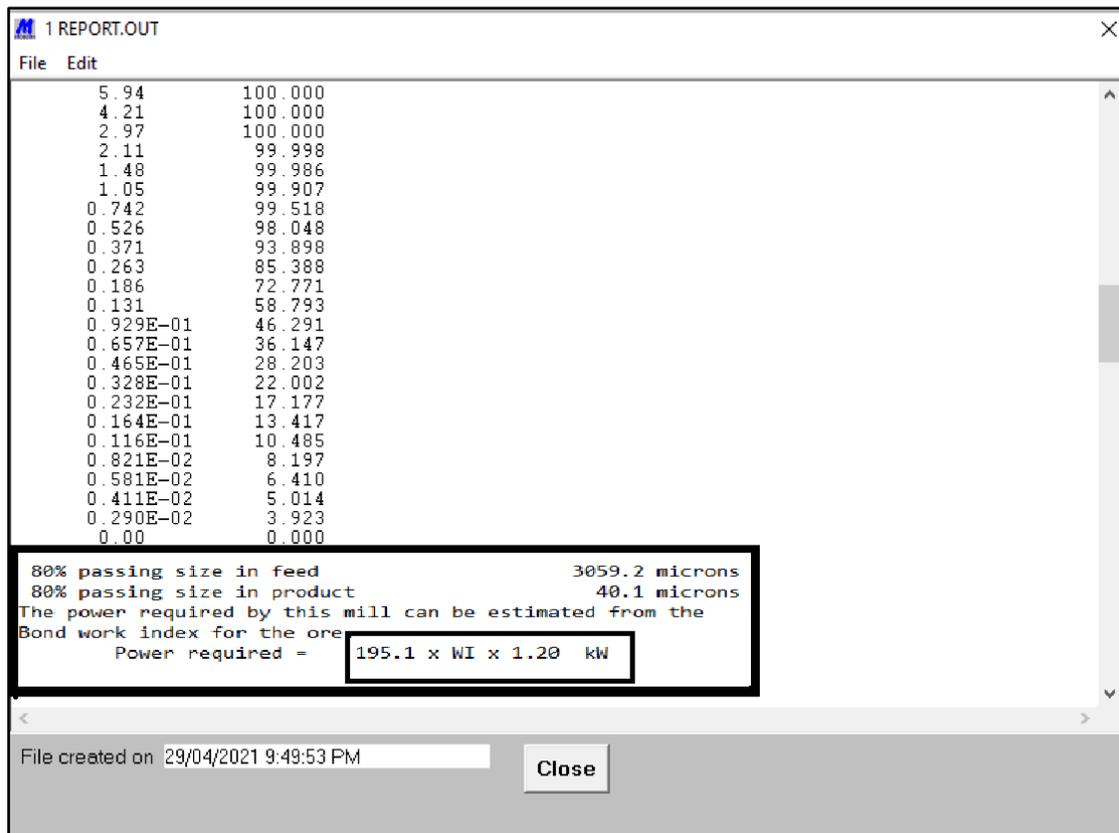


Figure 31 : Rapport de fichier de consommation d'énergie ($t_B=60\text{min}$)

Formule de calcul de kilowatts en kilowattheures

L'énergie E en kilowattheure (kWh) est égale à la puissance P en kilowatts (kW), multipliée par la période t en heures (h) :

$$E \text{ (kWh)} = P \text{ (kW)} \times t \text{ (h)}$$

d) Calculez l'énergie consommée pour Quatre Concentré ($t_B=1\text{h}$)

Nous avons de logiciel $P = 195.1 \times WI \times 1.2 \times t$

Calcul la consommation d'énergie pour (B1 66/68 TPL %)

$$P_{B1} = 195.1 \times WI \times 1.2 \times t \quad \Rightarrow \quad P_{B1} = 1425.79 \text{ KWh}$$

Calcul la consommation d'énergie pour (FR 63/65 TPL%)

$$P_{FR} = 195.1 \times WI \times 1.2 \times t \quad \Rightarrow \quad P_{FR} = 1477.29 \text{ KWh}$$

Calcul la consommation d'énergie pour (91 63/65 TPL%)

$$P_{91} = 195.1 \times WI \times 1.2 \times t \quad \Rightarrow \quad P_{91} = 1732.49 \text{ KWh}$$

Calcul la consommation d'énergie pour (CAL 69/72 TPL%)

$$P_{CAL} = 195.1 \times WI \times 1.2 \times t \quad \Rightarrow \quad P_{CAL} = 1966.60 \text{ KWh}$$

7) Rapporte économique

a) Prix d'énergie électrique

Tableau 26 : Prix d'énergie électrique pour les différents concentrés

	Creuse 22.30h-06.00h	Pointes 17.00h-21.00h	Pleines 06.00h-17.00h +21.00h-22.30	total	30 jours
Prix 1kwh (centime) (donnes de sonal gaz Tébessa)	59.03	660.85	136.2	-	-
B1: consommation d'énergie kwh	10693.49	5703.16	17822.37	34218.96	-
Prix broyé P_{B1} (DA)	6312.37	37689.34	24274.075	68275.79	2 048 273.7
FR:consommation d'énergie kwh	11079.67	5909.16	18466.13	34454.96	-
Prix broyé P_{FR} (DA)	6540.33	39050.68	25228.43	70819.44	2 124 583.2
91: consommation d'énergie kwh	12993.67	6929.96	21656.13	41579.76	-
Prix broyé P₉₁ (DA)	7670.16	45796.64	29586.60	83053.4	2 491 605
CAL: consommation d'énergie kwh	14749.5	7866.4	24582.5	47198.4	-
Prix broyé P_{CAL} (DA)	8706.63	51985.10	33584.61	94276.33	2 828 289.9

b) Prix déferant types de concentré

Tableau 27 : prix déferant concentré de D-O

	Prix par dollar	Prix par dinar	Prix de Quantité consommé de 30jour par DA
1 tonne de 63-65	85	11363.64	818 182 080
1 tonne de 66-68	85	11363.64	818 182 080
1 tonne de 69-72	95	12700.53	914 438 160

c) Prix total pour alimenter le broyeur 30 jour

Tableau 28 : Prix total pour alimenter le broyeur 30 jour

Concentré	Prix en DA
B1 66/68 TPL %	820 230 353
FR 63/65 TPL%	820 306 663
91 63/65 TPL%	820 673 685
CAL 69/72 TPL%	917 266 499

Conclusion

Grâce à ces expériences, nous concluons que le produit débourbé TPL 66/68 % est facile à broyage et bon TPL, moins énergivore et moins coûteux à fabriquer de l'acide phosphorique.

La technologie de traitement influe sur la dureté du produit. On constate que plus la température est élevée, plus la dureté du produit augmente en raison de la transformation extraire des atomes de carbone avec magnésium.

Lors du calcul de l'indice de Bond pour les quatre concentrations différentes. On les trouve proches des l'indice de Bond de phosphate de Tunisie.

CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Cette recherche nous a permis de connaître les différents types de phosphates et leurs diverses utilisations (production d'engrais phosphatés et d'acide phosphorique, en pharmacie et dans l'alimentation humaine et les insecticides, les pesticides et les détergents,) dans le monde en général et en Djebel-Onk en particulier.

L'objectif poursuivi le long de ce travail détermination de l'indice de broyabilité pour les différents concentrés de phosphate cas de Djebel-Onk.

Les différentes techniques d'analyse appliquée et calcul d'indicateurs ont mis en évidence une étroite relation entre la température de traitement et l'indice de broyabilité. Connaître la consommation d'énergie lors du broyage de chaque concentré.

D'après les résultats obtenues on remarque que Haute température de traitement de phosphate est la résistance au broyage est plus accrue. (Produit débourbé **66/68 % TPL**) montrent une broyabilités inférieurs à ceux dont la température de traitement est élevée (Produit débourbé séché par Four Rotative **63/65 % TPL**, Produit dépoussiérée **63/65% TPL**) Quant au (Produit calciné **69/72% TPL**) montrent une broyabilités plus accrue.

Nous proposons au complexe Djebel-Onk d'augmenter le rendement et la qualité par traitement humide pour financer ASMIDAL et le nouveau projet proposé d'Oued Keberitet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1]: AIT MERZEG Farid, Valorisation des rejets de minerai de phosphate naturel de Djebel Onk par flottation inverse, mémoire de fin d'étude magister, université A. MIRA Béjaia, 2009-2010.

[2]: NAIR fatma et DAHEUR Sabeh, Analyse et caractérisation des différentes phases de traitement du minerai de phosphates cas de Djebel Onk, mémoire magister, université Laarbi Tébessa, Tébessa, 2014-2015.

[3]: NOUIOUA Dounia et MERBAI hana, Influence du broyage sur les caractéristiques chimiques et minéralogiques du minerai de phosphate beige de gisement de Kef Essennoun de la mine de Djebel Onk (Tébessa), mémoire de fin d'étude master

[4]: BATTOU Karim et BOUALILI Si Yakoub, Evaluation des caractéristiques chimiques et minéralogiques dans le procédé de traitement du minerai de phosphate de gisement de Kef Essennoun de Djebel Onk (Tébessa), mémoire de fin d'étude master

[5]: SAGNO Jonas, Mise en valeur des rejets miniers phosphatés : Nouvelles tendances de restauration et de réhabilitation des sites miniers (cas de la Société Minière de Phosphate – SOMIPHOS-Djebel Onk-Tébessa), mémoire de fin d'étude master

[6] : Dictionnaire de géologie ; page 250.

[7] : BOUZENZANA Abdellali, Magistère Elaboration d'une technologie pour le traitement des rejets du phosphate dans le cas de (djebel - Onk) ; Annaba 1992

[8] : <http://www.aquaportail.com>

[9] : Alger, Algérie : documents algériens, Série économique : mines ; Les mines en Algérie, mise sur site le 7-03-2005

[10] : MEM ; Ministère d'énergie et des mines

[11] : le site www.premier-ministre.gov.dz/

[12]: Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de magister en chimie. Thème Étude comparative des minerais de phosphate naturels noir et beige de la région de Djebel Onk (Tébessa). Réalisé par : nasri- moussaoui fadila. Encadré par : Mr. NACER BEZZI. Université de Béjaia. Promotion 2011.

[13]: **M.SLANSKY, [1975]** - disponibilité et besoins futurs en minerais phosphatés compte tenu de la lutte anti-pollution et de nouvelles applications possibles, B.R.G.M.

[14]: Phosphate - Wikipedia <https://fr.m.wikipedia.org> 2021.

[15] Document de la Direction d'étude et développement, Complexe Minier Djebel Onk Bir Ater-Tébessa,

[16] **MESSAI Ali**, (2016), Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention de diplôme Master 2, Caractérisation et choix d'un schéma de traitement des rejets phosphatés +15 mm cas mines Djebel Onk-TEBESSA, université de Tébessa, page 9.

[17] Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en exploitation des mines. Thème : Étude multicritères des paramètres d'abattage de la mine de phosphate de djebel Onk –Tébessa. Réalisé par : **Mr Mohammed DOUMIR** et **Mr Saïd TEFTAF**. Encadré par : **Mr. NOUIOUA.S**. Université de Tébessa. Promotion 2017.

[18] le site <https://www.businessfrance.fr/algerie-les-groupes-manal-sonatrach-et-asmidal-en-negociation-avec-les-chinois-citic-et-wengfu-pour-le-developpement-de-l-exploitation-des-phosphates-des-mines-de-tebessa>

[19] **BOUZENZANA Abdellali**, Effet de la calcination sur la broyabilité des concentrés de phosphate cas de djebel-Onk Algérie

[20] le site <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=7599>

[21] le site <https://www.911metallurgist.com/blog/table-of-bond-work-index-by-minerals>

[22] **Fernando PEREIRA** thèse de doctorat, Production d'acide phosphorique par attaque chlorhydrique de minerais phosphatés avec réduction des nuisances environnementales et récupération des terres rares en tant que sous- produits. Géochimie. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2003. Français.