

REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES
DEPARTEMENT DU GENIE ELECTROMECHANIQUE



Gm.0111

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

TITRE:

Doublement de la capacité
de production d'attapulgite de la
Société Sénégalaise des Phosphates de Thiès
Automatisation et Supervision du four sécheur

Auteur : Malick Guèye FAM

Directeur interne : Ngor SARR

Codirecteurs internes : Papa MBOUP

Salam SAWADOGO

Directeur externe : Cheikh Ndiouga GUEYE

Juillet 1999

A

mon père

A ma chère mère

A mes frères et sœurs

A mon cousin Dr Seck & Mme

A mon cher ami Cheikh M Thiam

A tous ceux qui me sont chers

A ma future épouse

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à tous ce qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce document.

Je remercie mes directeurs de projet Messieurs Ngor SARR, Papa MBOUP et Salam SAWADOGO, tous professeurs à l'Ecole, pour leur encadrement.

Je remercie la direction de la SSPT, le personnel de l'usine de Allou Kagne avec à sa tête de directeur de l'usine M. Cheikh Ndiouga GUEYE.

Une mention spéciale est réservée à M. Khaly SARR, le responsable de la Maintenance Fixe de la SSPT, pour la disponibilité et la gentillesse sans limite dont il a toujours fait preuve à mon égard.

Ces remerciements s'adressent aussi à M. Serigne THIAM, le responsable de la Régulation à la Division Electromécanique des ICS-Mine (ex-TAIBA) et plus particulièrement à son contremaître M. Maleyenine GUEYE pour toutes les informations et la documentation qu'il m'a fourni sur les équipements Allen-Bradley.

Enfin, je remercie particulièrement mon cousin Dr Mamadou SECK et sa femme Mme Eva Marie COLL-SECK pour le soutien moral et matériel qu'ils m'ont toujours accordé, ma très chère sœur Khady FAM et ma très chère amie Ndèye Fatou PENE pour leur soutien, et pour la saisie de ce document.

Que tous ceux qui m'ont aidé, soutenu, encouragé trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

" Les échecs du passé découragent d'autant moins les chercheurs que ceux-ci ignorent en général, et ce qui a été fait avant eux, et le processus intime lui-même des phénomènes physiques mis en action au moment de la fragmentation. *Il ne faut donc s'écarter que très prudemment des solutions classiques.* "

Edmond BLANC,

**Ingénieur de l'Ecole Nationale
Supérieure d'Arts et Métiers
Ingénieur-conseil
Ancien Directeur Technique de la
Société des Appareils Dragon**

Sommaire

Le présent rapport traite du projet de fin de fin d'étude intitulé : « Doublement de la capacité de production d'attapulgite de la Société Sénégalaise des Phosphates de Thiès- Automatisation et Supervision du four sécheur ». L'étude se compose de cinq chapitres en plus de l'introduction et des recommandations qui seront suivies de la conclusion.

Chapitre 1: Description de l'existant

Ce premier chapitre est consacré à la présentation de la société, à la description des lignes de concassage, de séchage et aux caractéristiques et aux performances des équipements de la chaîne.

Chapitre 2: Examen de l'existant

Il s'agit de faire une analyse critique de l'existant. L'objectif visé est de dégager les forces et les faiblesses des lignes séchage et concassage et des équipements en service.

Chapitre 3: Propositions de solutions

Cette partie est l'étude proprement dite du doublement. A partir des objectifs et des contraintes de production, on calcule les temps de marche de chaque ligne et les débits des différents tronçons de la chaîne. L'étude de la configuration des lignes concassage et séchage sera suivie de la détermination des caractéristiques des appareils.

Chapitre 4: Etude de l'automatisation et de la supervision du four

Dans ce chapitre, nous étudions les différentes boucles de régulation, le programme d'automatisation, le choix de l'automate et en fin le logiciel de supervision et les accessoires.

Chapitre 5: Evaluation des solutions

L'évaluation des solutions est composée de deux parties. La première est une évaluation qualitative des solutions proposées sur le doublement de la capacité de production. LA seconde est consacrée au calcul du budget de l'automatisation et de la supervision.

Recommandations et Conclusion

Dans les recommandations, nous donnons les études qui pourraient compléter nos travaux et des suggestions pour la bonne marche de la chaîne de production. La conclusion résume les principaux résultats obtenus.

TABLE DES MATIERES

Page titre	I
Dédicaces	II
Remerciements	III
Sommaire	V
Table des matières	VI
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	X
Liste des annexes	XI
Introduction	1
Chapitre 1 Description de l'existant	3
1-1 Présentation de la SSPT	3
1-1-1 Historique de la Société	3
1-1-2 L'organisation	4
1-1-2 La production	4
1-1-2-1 Les tonnages mensuels de 1998	4
1-1-2-2 Les débits de production	5
1-1-2-3 Les pertes de matières par production de fines	6
1-2 La chaîne de production	6
1-2-1 Le minerai traité : l'attapulgite	6
1-2-2 Le schéma de la chaîne	7
1-2-2-1 La ligne concassage	7
1-2-2-2 La ligne séchage	9
1-2-3 L'environnement de l'usine	10
1-2-4 La description des équipements	11
1-2-4-1 La grille de protection	11
1-2-4-2 Le distributeur à tiroir	11
1-2-4-3 Le concasseur primaire	11
1-2-4-4 Le broyeur Moritz	13
1-2-4-5 Le broyeur Symons	15
1-2-4-6 le four sécheur	17
1-2-3-7 Les cribles	19
1-2-4-8 Les transporteurs	19
1-2-4-9 Les trémies de stockage	20
1-2-4-10 Les rendements électriques des broyeurs	20

Chapitre 2	Examen de l'existant	22
2-1	La production	22
2-2	La configuration des chaînes concassage et séchage	22
2-2-1	Le concassage	23
2-2-2	Le séchage	24
2-3	Le choix des équipements	24
2-3-1	La grille de protection	25
2-3-2	Le distributeur à tiroir	26
2-3-3	Le concasseur à pointes	26
2-3-4	Le broyeur giratoire	27
2-3-5	Le broyeur à marteaux	28
2-3-6	Le four sécheur	28
2-3-7	Les cribles	29
2-3-8	Les trémies de stockage	29
2-3-9	Les rendements électriques des broyeurs	30
Chapitre 3	Propositions de solutions	31
3-1	Objectifs et contraintes de production	31
3-2	La production : nécessité d'une étude du travail	31
3-3	La configuration de la chaîne	32
3-3-1	Solutions proposées	32
3-3-1-1	La ligne séchage	32
3-3-1-2	Le schéma de la ligne concassage	33
3-3-1-2-1	Méthodologie de recherche d'idées	33
3-3-1-2-2	Le schéma idéal	33
3-3-2	Études de praticabilités des solutions	34
3-3-2-1	Praticabilités et aspects physiques du schéma idéal	35
3-3-2-2	Praticabilités et aspects économiques du schéma idéal	36
3-3-2-3	Praticabilités et facteurs temps du schéma idéal	36
3-3-2-4	Praticabilités et facteurs environnementaux du schéma	36
3-3-2-5	Conclusion des études de praticabilités du schéma idéal	36
3-3-3	Modification de la solution idéale	36
3-3-4	Implantation des broyeurs	38
3-4	Détermination des débits	38
3-4-1	Les débits de la ligne séchage	38
3-4-1-1	Le temps de marche de la ligne séchage	38
3-4-1-2	Les débits des différents tronçons de la ligne séchage	39
3-4-2	Les débits de la ligne concassage	40
3-4-2-1	Le temps de marche	40
3-4-2-2	Détermination de la maille de la grille	40
3-4-2-3	Les débits des différents tronçons de la ligne concassage	41
3-5	La détermination des équipements	44
3-5-1	Le distributeur à tiroir	45
3-5-2	Le broyeur primaire	45

3-5-3	Le broyeur secondaire	46
3-5-4	Le broyeur tertiaire	46
3-5-5	Le four sécheur	47
3-5-6	Les cribles	48
3-5-7	Les trémies de stockage	49
3-5-6	L'utilisation d'autres broyeurs comme variantes	49
3-5-6-1	Le broyeur à cylindres lisses	50
3-5-6-2	Le concasseur à un cylindre et mâchoire	51
Chapitre 4	Automatisation et supervision du four sécheur	52
4-1	Critiques de l'existant	52
4-2	Modifications proposées	53
4-3	Étude de l'automatisation	55
4-3-1	Les boucles de régulation	55
4-3-2	Étude du GEMMA	56
4-3-3	Fonctionnement à programmer	57
4-3-4	Listing des entrées/sorties de l'automate	61
4-3-5	Le programme proposé	64
4-3-6	Choix de l'automate	64
4-3-6-1	Choix du fabricant	64
4-3-6-2	Choix du processeur	65
4-3-6-3	Choix de la carte d'alimentation	65
4-3-6-4	Choix des modules d'entrées et de sorties	65
4-3-6-5	Choix du châssis	66
4-4	Étude de la supervision	66
4-4-1	Choix du logiciel	66
4-4-2	La carte de communication et le câble	67
Chapitre 5	Évaluation des solutions	68
5-1	Évaluation des solutions proposées pour la chaîne	68
5-1-1	L'emploi des concasseurs à cylindres dentés	69
5-1-1-1	La réduction des coûts de fonctionnement	69
5-1-1-2	Les gains de productivité	69
5-1-1-3	La baisse du niveau de pollution	70
5-1-2	L'emploi du broyeur à cylindres lisses au troisième étage	70
5-1-3	L'emploi du concasseur à cylindre denté et mâchoire au second ou au troisième étage	71
5-1-4	Conclusion sur les variantes	71
5-2	Évaluation financière de l'automatisation et de la supervision	71
	Conclusion	73
	Recommandations	75
	Références bibliographiques	76
	Annexes.....	77

Liste des figures

1-1	Identification du matériel de Allou Kagne	8
1-2	Schéma d'un concasseur à cylindres dentés	12
1-3	Schéma d'un concasseur à marteaux articulés à deux rotors	13
1-4	Schéma d'un granulateur giratoire à tête courte	15
1-5	Schéma d'un four rotatif	17
3-1	Schéma de la ligne séchage	32
3-2	Schéma idéal proposé pour la ligne concassage	34
3-3	Schéma idéal modifié pour la ligne concassage	37
4-1	Boucle de régulation de l'humidité à la sortie et de l'air de combustion	52
4-2	Boucle de régulation de la température de la buse	52
4-3	Boucle de régulation de la dépression de la buse	53
4-4	Schéma du GEMMA	57

Liste des tableaux

1-1	Productions mensuelles de 1998	5
1-2	Analyses granulométriques de produits broyés du concasseur primaire	12
1-3	Analyses granulométriques de produits broyés du concasseur Moritz pour différents réglages	14
1-4	Analyses granulométriques de produits broyés du Moritz	14
1-5	Débits du broyeur conique à tête courte	15
1-6	Analyses granulométriques de produits broyés du Symons	16
1-7	Caractéristiques des cribles de la chaîne de traitement	19
1-8	Caractéristiques des transporteurs du concassage	20
1-9	Rendements électriques des broyeurs	21
3-1	Les débits de la ligne séchage	40
3-2	Les débits des différents tronçons de la ligne concassage	44
4-1	Liste des entrées de l'automate	62
4-2	Liste des sorties de l'automate	63
4-3	Modules d'entrées et de sorties choisis pour l'automatisation du four	66
5-1	Les coûts de l'automatisation et de la supervision du four	72

Liste des annexes

- A-1 Résultats des analyses chimiques de l'attapulgite
- A-2 Paramètres de marche sur chaîne de traitement
- A-3 Analyses granulométriques caractéristiques de produits de divers types de concasseurs
- A-4 Grassets proposés pour l'automatisation du four
- A-5 Feuille de présentation du logiciel de supervision, le RSView 32

INTRODUCTION

Le troisième millénaire sera sans doute marqué par la mondialisation de l'économie et l'instauration d'un marché de concurrence pure et parfaite. Dès lors, la recherche de la compétitivité, le contrôle et l'exploitation efficace et efficiente des outils de production constituent la préoccupation majeure des industriels. L'atteinte de ces objectifs passe forcément par une optimisation et une maîtrise des chaînes de production et de la consommation d'énergie sous quelque forme que se soit. La relève de ces défis implique une remise en cause permanente des structures et process actuels et une orientation vers les nouvelles technologies.

La Société Sénégalaise des Phosphates de Thiès (SSPT), privatisée en avril 1998, a très vite évalué l'ampleur de la situation. Cette entreprise franche d'exportation produit sur son site de Allou Kagne une moyenne de cent mille (100 000) tonnes d'attapulгите par an. Ce minerai, extrait depuis une mine située à deux (02) kilomètres de l'usine, subit une préparation mécanique dans la ligne de concassage avant d'être séché dans la ligne séchage. La préparation mécanique consiste en une suite de broyages et de criblages afin d'obtenir la classe granulométrique 1/6,3. Dans la deuxième chaîne, l'humidité du minerai qui peut atteindre 30% à l'extraction est réduite jusqu'à 8% pour l'attapulгите de Allou Kagne et à 12% pour celui de Sébikhotane grâce à un tambour de séchage fonctionnant au fuel lourd.

La production annuelle de 100 000 tonnes est réalisée grâce à trois postes fonctionnant huit (08) heures par jour, et parfois les week-ends. Le principal inconvénient lié à ce régime de fonctionnement est la surcharge des appareils de la chaîne et du personnel à cause des nombreux problèmes techniques. En outre, la production visée pour l'année prochaine s'élève à 200 000 tonnes.

Face à cette situation la solution retenue consiste en un redimensionnement de la chaîne de traitement. La recherche d'un produit de qualité et l'optimisation de la marche de la chaîne séchage sont à l'origine d'un projet d'automatisation totale et de supervision du four sécheur.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre projet de fin d'études intitulé :

**« Doublement de la capacité de production d'attapulгите de la SSPT -
Automatisation et Supervision du four sécheur ».**

Ce rapport porte sur la configuration de la chaîne de traitement et sur la détermination des équipements permettant de réaliser dans les meilleures conditions la production visée et sur la proposition d'un programme d'automatisation du four sécheur et d'un logiciel de supervision.

Un diagnostic de l'existant pour dégager ses forces et ses faiblesses , ainsi que les techniques classiques de préparation mécanique des solides serviront de base pour l'étude du doublement de la capacité de la chaîne. Pour l'automatisation de la marche du four sécheur, nous partirons d'une étude critique du fonctionnement actuel afin de proposer un nouveau programme.

Dans le premier chapitre de cette étude , nous ferons une présentation de la SSPT et une description détaillée des installations. Le second chapitre est consacré à l'examen de l'existant. Les propositions de solutions font l'objet du troisième chapitre. L'automatisation et la supervision du four sécheur sont traitées dans le dans le suivant. Le cinquième et dernier chapitre est réservé à l'évaluation des solutions proposées. Il sera suivi de la conclusion et des recommandations.

Chapitre 1**DESCRIPTION DE L'EXISTANT**

L'objectif visé par ce premier chapitre de notre étude est la présentation de l'unité de production d'attapulgite. Il s'agit de décrire la configuration de la chaîne, les caractéristiques et les performances des équipements de production. Nous débutons ce chapitre par une brève présentation de la société.

1-1 Présentation de la SSPT

Il s'agit de donner l'historique de la société, son organisation et les grandes lignes de sa production actuelle.

1-1-1 L'historique de la société

Inaugurée à la veille de notre indépendance, la Société Sénégalaise des Phosphates de Thiès (SSPT) était jusqu'en Avril 1998, une société nationale. A ses débuts, elle s'identifiait seulement à l'usine de Lam-Lam.

Par la suite la carrière d'attapulgite de Allou Kagne allait être exploitée. Le minerai était transporté jusqu'à Lam-Lam pour y être traité. C'est seulement en 1986 qu'une usine sera installée sur le site de Allou Kagne.

L'usine de Lam-Lam produit du phosphate de chaux, du phosphate d'alumine et du clinker alors que sur celle de Allou Kagne c'est seulement l'attapulgite qui y est traité. La production des deux usines, destinée à l'exportation est transportée régulièrement par voie ferrée jusqu'au Port Autonome de Dakar où la société dispose d'un terminal.

En avril 1998, la société est entièrement privatisée et devient une entreprise franche d'exportation. ses acquéreurs sont particulièrement intéressés par l'attapulgite. Actuellement, la production d'attapulgite est la principale activité au niveau de la société.

1-1-2 L'organisation administrative

La Société Sénégalaise des Phosphates de Thiès (SSPT) est une filiale d'une entreprise espagnole, la Tolsa de Madrid. A sa tête est placé un directeur général secondé par un directeur adjoint. Ensuite, viennent les quatre directions que sont :

- la direction d'exploitation de Allou Kagne
- la direction d'exploitation de Lam-Lam
- la direction du personnel
- la direction Comptabilité et Finances.

La SSPT a un effectif de 150 travailleurs pour un chiffre d'affaire réalisé en 1998 de trois milliards (3.000.000.000) de francs CFA. Son capital s'élève à un milliard (1.000.000.000) de francs CFA.

1-1-3 La production

Nous donnons les tonnages mensuels de 1998, les paramètres liés au débit moyen de production et enfin le taux de pertes de matières dues à la production de poussière.

1-1-2-1 Les tonnages mensuels de 1998

Sur le marché, la demande de l'attapulgite suit une croissance fulgurante. Durant l'année 1998, les programmes de production étaient tels que l'usine tournait avec trois postes par jour et parfois même les week-ends. Autrement dit, la chaîne de traitement fonctionne en permanence hormis les arrêts inévitables (décolmatages, interventions mécaniques ou électriques, délestage par la SENELEC, temps de pluie, mine impraticable, etc.). A ce rythme la production est de l'ordre de 100 000 tonnes par an d'attapulgite Allou Kagne. Le tonnage total réalisé pour les produits de Sébikhotane et de Allou Kagne s'élève à 110 000 tonnes.

Le tableau 1-1 suivant regroupe les productions mensuelles de 1998.

Mois		Janv	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aoû	Sept	Oct	Nov	Dec
Prod.	AK	3308	3869	8343	11707	9269	8665	2330	8818	5437	11478	10196	11404
(t)	SK	0	0	0	0	0	0	5810	0	0	1776	4567	4504

AK: attapulгите de Allou Kagne

SK: attapulгите de Sébikhotane

Tableau 1-1: Productions mensuelles de l'année 1998

On note des écarts considérables entre les tonnages réalisés ; par exemple entre les mois de septembre (5 437 tonnes) et octobre (11 478 + 1 776 = 13 254 tonnes). Les faibles production des mois de janvier et de février sont liées a la baisse des demandes durant cette période. Par contre, pendant les mois de juillet, août et septembre correspondant à la saison des pluies, les conditions de production ne sont pas favorables. Les difficultés sont surtout rencontrées au niveau du concassage. En effet, la mine peut rester impraticable plusieurs heures après une pluie.

Les baisses de production se justifient aussi par les nombreuses pannes sur des paliers, les cassures de chemins de roulement du four, les délestages, etc.

1-1-2-2 Les débits de production

Les statistiques de pannes relevées par les chefs de postes donnent un temps de marche effectif de 68%. Le temps effectif de marche journalier est estimé à 20 heures.

Le débit moyen de production rapporté au temps effectif de marche est de 26,5 tonnes par heure. Pour un tonnage annuel de 110 000 tonnes, ce débit correspond à un temps de 4 151 heures de marche.

La durée d'embauche, pour une disponibilité de 68%, est alors de 6 104 heures par an. Comme les congés ne sont pas collectifs, le nombre moyen de jours travaillés par mois est de :

$$6104 / (20 \text{ h/j} \times 12) = 25,4 \text{ jours.}$$

1-1-2-3 Pertes de matières par production de fines

Les pertes de matières par production de fines sont estimées entre 30 et 35% du débit d'alimentation par les exploitants. Nous admettons que le taux moyen de fines produites représente 32,5% du débit d'alimentation.

1-2 La chaîne de production

Le produit que doit livrer la société a une granulométrie maximale de 6,3 mm. La taille des blocs à l'extraction peut atteindre 800 mm, d'où la nécessité d'une préparation mécanique par une chaîne de production.

1-2-1 Le minerai traité : l'attapulgite

Le minerai traité est l'attapulgite. C'est de l'argile pure appartenant à la famille des palygorskites. Chimiquement, il s'agit du silicate de magnésium, contenant quelques impuretés dont le silex (5%) et le calcaire. Les résultats d'analyses chimiques effectuées sur le minerai sont fournis à l'annexe A-1.

Le minerai est souple, tenace et abrasif. Il se déchire difficilement en s'effilochant (Caillère et Hénin, 1963). Il est plastique, collant et de nature schisteuse. Le produit extrait de la mine a une humidité moyenne de 30 % et une densité apparente comprise entre 0,75 et 0,8 tonne/m³. A cause de sa ténacité, l'attapulgite se fragmente difficilement par compression.

Son importance est liée à sa grande capacité d'absorption d'eau et d'huile. Il est principalement utilisé pour la literie des chats et des chiens et comme absorbant industriel. Les caractéristiques recherchées pour le produit fini sont les suivantes :

- une humidité de 8 % pour le produit de premier choix et 12% pour celui de deuxième choix, correspondant respectivement au minerai de Allou Kagne et à celui de Sébikhotane ;
- une granulométrie comprise entre 1 et 6,3 mm. Le taux d'éléments ultra fins 0/1 ne doit pas dépasser 2 % alors que le taux de surclassé doit être nul ;

-
- une capacité d'absorption d'eau supérieure à 80 % ;
 - une teneur en calcaire inférieure à 15 %.

Les deux dernières caractéristiques du produit marchand dépendent surtout de la composition du minerai alors que la granulométrie et le taux d'humidité dépendent plutôt du traitement dans la chaîne de production.

1-2-2 Le schéma de la chaîne

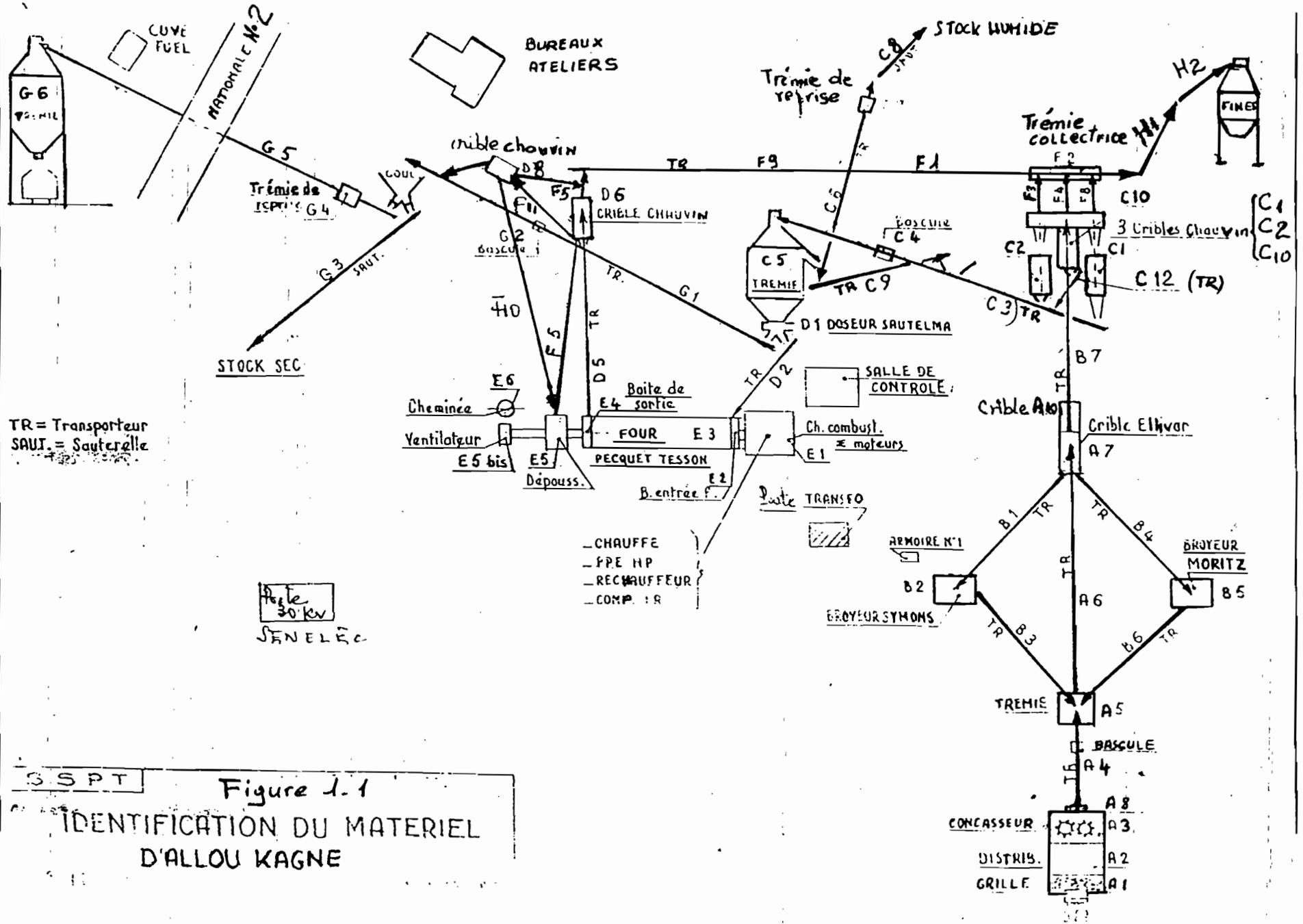
La chaîne de traitement d'attapulgite de la SSPT est composée de deux lignes : la ligne concassage et la ligne séchage. Le schéma d'ensemble est montré à la figure 1-1 : Identification du matériel (cf. page suivante).

1-2-2-1 La ligne de concassage

Le point de départ de la ligne de concassage, qui est aussi celui de toute la chaîne est une grille A₁ qui reçoit le tout-venant transporté par des camions depuis la mine d'extraction. Les blocs de taille supérieure à la maille de la grille (250 x 250) sont cassés à l'aide de marteaux par des ouvriers.

Le produit passe ensuite à travers une trémie pour aboutir dans le distributeur à tiroir A₂. Ce dernier assure une alimentation plus ou moins régulière du concasseur A₃. A la sortie du concasseur est placée une trémie A₈ qui alimente le transporteur A₄ qui déverse sa charge dans la trémie de recyclage A₅. Cette dernière reçoit également les charges des transporteurs B₃ et B₆ qui évacuent respectivement les sorties des broyeurs Symons (B₂) et Moritz (B₅).

Le contenu de la trémie de recyclage A₅ est envoyé sur les cribles Ellivar A₇ et A₁₀ par le transporteur A₆. Les cribles Ellivar servent à séparer leur produit alimentation en trois (3)



SSPT
Figure 1.1
IDENTIFICATION DU MATERIEL
D'ALLOU KAGNE

classes. La première de granulométrie 6,3/30 est envoyée sur le broyeur Moritz (B5) par le transporteur B4. La deuxième de granulométrie 13/55 sert d'alimentation pour le Symons (B2) grâce au transporteur B1. Les passants de taille inférieure à 6,3 mm sont envoyés par le tapis roulant B7 sur les cribles Chauvin C1, C2 et C10 qui servent à enlever les poussières fines (granulométrie 0/1).

A partir de la répartition des refus des cribles Ellivar vers les broyeurs, on peut assimiler la chaîne de concassage à un circuit à trois étages. Le premier étage est celui du concasseur primaire. Le deuxième est celui du granulateur giratoire qui reçoit la classe 25/50. Au dernier étage, le concasseur à marteaux assure la réduction jusqu'à 6,3 mm.

Les poussières produites sont déversées dans une trémie collectrice (F2) par les transporteurs F3, F4 et F8. Le contenu de la trémie F2 se déverse sur le transporteur F1 puis sur H1 et enfin sur H2. C'est ce dernier transporteur qui envoie toutes les fines dans la trémie de stockage.

Les refus des cribles Chauvin constituent le produit recherché avant séchage. Il est d'abord envoyé sur le transporteur C12, ensuite sur le C3 qui l'achemine vers la trémie de stock humide C5. Une fois la trémie pleine, le produit passe par une goulotte sur le transporteur C6 qui le déverse dans la trémie de reprise C7. A la sortie de cette trémie est placée la sauterelle C8 qui déverse le produit à l'air libre : c'est le stock humide.

En cas de défaut non situé sur le transporteur C3 et nécessitant l'arrêt de la ligne concassage, ce stock humide est utilisé pour remplir la trémie C5. Le produit est alors envoyé dans la trémie de reprise C7 par une pelleteuse. Il est ensuite envoyé sur le transporteur C3 par le transporteur C6. Le produit est de nouveau acheminé vers la trémie C5.

1-2-2-2 La ligne séchage

Après le concassage, le produit stocké dans la trémie C5 doit être séché au niveau du four Pequet Tesson. Le débit du produit sortant de la trémie C5 est régulé grâce à une courroie distributrice, le doseur Sautelma, D1 qui alimente le transporteur D2. Ce dernier envoie le

produit dans la virole par la buse du four.

Le produit séché est recueilli sur le transporteur D5 et envoyé sur le crible chauvin D6. Ce dernier le sépare en trois (03) lots. Le premier, de granulométrie supérieure à $10 \times 10 \text{ mm}^2$, est envoyé sur le transporteur F9 par le transporteur F5 pour être acheminé vers la trémie de stockage de fines. Le deuxième, de classe 2,5/10 est envoyé sur le transporteur G1. Enfin, le troisième lot récupéré par le transporteur F11 est criblé sur le Chauvin Dg. De dernier criblage sert à enlever la poussière 0/1 résultant des chutes successives du produit dans la virole et éventuellement d'un mauvais criblage au concassage. Ces poussières sont récupérées sur le transporteur F5 pour être déversées sur le F5. Ce dernier reçoit également par le biais des transporteur F10 les poussières provenant du crible Dg.

Le tambour de tête du transporteur G1 est situé sous la trémie de stock humide. Cette disposition visait à faciliter le remplissage de la trémie de stock sec en produit humide en cas de commande de se dernier.

La charge du transporteur G1 est déversée sur la goulotte (repère Goul). Cette goulotte dispose de deux sorties : la première aboutit sur le transporteur G5 qui achemine le produit fini vers la trémie de stock sec G6 (ou trémie de chargement) alors que la deuxième permet d'alimenter la sauterelle G3 qui déverse le produit à l'air libre (stock sec) quand la trémie G6 est pleine.

1-2-3 L'environnement de l'usine

L'environnement de l'usine est particulièrement poussiéreux. Le minerai étant de l'argile, une poussière extrêmement fine est produite. Cette dernière rend les interventions difficiles et endommage fréquemment les moteurs et les paliers.

1-2-4 Description des équipements

Nous donnons les caractéristiques et les performances des équipements de la chaîne.

1-2-4-1 La grille de protection

La grille de protection placée sur la trémie d'alimentation du concasseur à cylindres dentés reçoit le tout-venant. Elle a une maille carrée de 250 mm de côté. Une fois le minerai déversé sur la grille par les camions de transport, celle-ci est secouée par deux moteurs électriques appelés vibreurs. Par ces vibrations, les blocs de taille inférieure à la maille passent dans la trémie et les autres sont cassés à la masse par les équipes de surveillance.

Par moments, la proportion de ces gros blocs est telle que le personnel de surveillance se retrouve débordé. Face à une telle situation, le tout-venant est foisonné par le bulldozer à la mine avant d'être chargé dans les camions. Cette solution a comme inconvénient majeur une production excessive de fines.

1-2-4-2 Le distributeur à tiroir

Le distributeur à tiroir est placé juste en dessous de la trémie supportant la grille de protection. Il a la forme d'un tablier entraîné par un mécanisme bielle - manivelle grâce à un moteur de 10 CV/ 1500 tours par minute accouplé à un réducteur de vitesse de rapport 1/80. Le distributeur a donc un mouvement de translation alternatif.

Pour changer la valeur du débit, on modifie le réglage de la course. Cette dernière varie de 140 à 280 mm. De lourdes chaînes, formant un rideau, servent à réduire l'irrégularité du débit à la sortie. La valeur maximale de ce dernier est de 140 tonnes par heure.

1-2-4-3 Le concasseur primaire

Le concasseur primaire est un broyeur à deux cylindres creux dentés fabriqué par NEYRET BELLET. Il serait en service depuis 1951. Chaque tambour a un diamètre de 1 400 mm, une

1-2-4-4 Le broyeur Moritz

C'est un concasseur à marteaux articulés à deux rotors qui agissent par percussion sur les blocs tombant dans la chambre de concassage. Il a été acheté tout neuf et mis en service en 1981. A la figure 1-2 ci-dessous, on peut voir le schéma de ce type de concasseur.

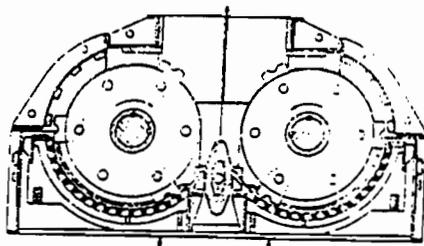


Figure 1-3 : Schéma d'un concasseur à marteaux articulés à deux rotors

Les rotors tournent à 274 tours par minute mais en sens contraire. Sur chacun d'eux sont fixés 42 marteaux intermédiaires de 8,8 kg chacun et 12 marteaux d'extrémité. L'écartement entre deux marteaux placés côte à côte sur le même rotor est de 10 mm, alors qu'entre les deux tambours, on a un écartement réglé à 10 mm. Les tambours ont chacun un diamètre de 1200 mm et une longueur de 810 mm. En dessous de chaque rotor est placée une grille de 15 x 35 mm². Les grilles sont en tôle de 860 x 90 x 8 courbée suivant les rotors.

Le débit garanti pour une grille de 6 mm est de 100 tonnes/heure de produit de granulométrie 6/70, avec un taux de récupération supérieur à 50% de 2/6. Malheureusement, l'appareil ne peut atteindre un tel débit. Différents essais ont donné les résultats consignés dans le tableau suivant.

N° Essai	1	2	3
Diamètre poulie (mm)	224	224	315
Grille (mm x mm)	6x6	8x35	6x6
Débit maximal (t / h)	44	52	48
Récupération 0 / 2 (%)	68	54	71
Récupération 2 / 6 (%)	31	40	29
Taille supérieure à 6 (%)	1	6	0

Tableau 1-3 : Profil granulometrique de produite concassée du broyeur Moritz pour différents réglages

Sur ces résultats on peut noter les écarts considérables entre le débit garanti de 100 t/h et les débits maxima que la machine peut supporter. Les résultats se caractérisent également par une forte proportion de fines.

Les résultats d'analyses granulométriques de produits broyés par la machine avec la grille de maille 15 x 35 sont données dans le tableau ci-dessous.

Maille de tamis	1	5,6	6,3	25
cumul de passants	16,3%	83,9%	89,2%	100%

Tableau 1-4 : Analyses granulométriques de produits broyés du broyeur Moritz

En fonctionnement, le broyeur Moritz reçoit les refus des grilles inférieures des cribles Ellivar A10 et A7 de tailles respectives 7/13 et 7/30. La présence de la grille impose au produit une granulométrie inférieure à 15 x 35 mm².

1-2-4-5 Le broyeur Symons

Le broyeur Symons appartient à la famille des granulateurs giratoires et plus précisément des Symons Cônes. Il est du type à tête courte de 4 pieds 1/4. Sa mise en service remonte à 1985. La figure 1-6 ci-dessous montre un granulateur giratoire à tête courte.

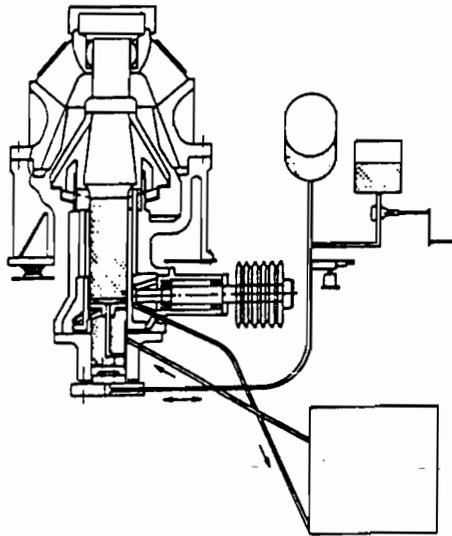


Figure 1-4: Schéma d'un granulateur giratoire à tête courte

La dimension du produit à la sortie est déterminée par l'écartement maximum, appelé réglage, entre les mâchoires fixe et mobile. Sa valeur actuelle est de 18 mm.

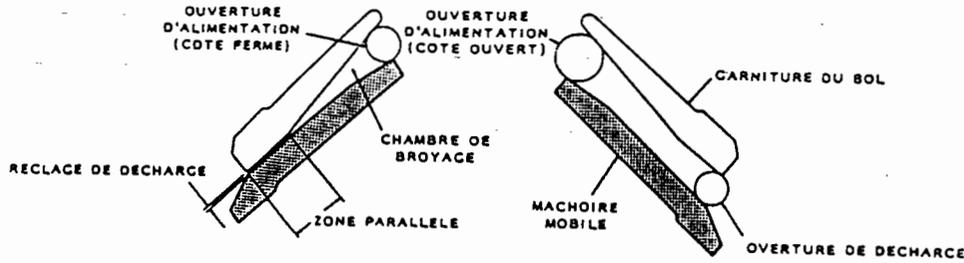
Dans la chaîne de concassage, il reçoit les refus des grilles supérieures et intermédiaires du crible Ellivar de taille 25/25 et 13/25 et aussi ceux des grilles supérieures du A7 de taille 30/55. Le produit, à la sortie du broyeur, a une granulométrie inférieure à la valeur de réglage de l'ouverture maximale, c'est-à-dire 18 mm.

Les analyses granulométriques de produits traités par le broyeur giratoire sont consignées dans le tableau suivant.

Maille de tamis	1	5,6	6,3	25
cumul de passants	4,9%	39,3%	47%	100%

Tableau 1-5 : Analyses granulométriques de produits broyés du broyeur Symons.

Dans le tableau 1-5, on peut lire les débits obtenus avec broyeur pour un produit de densité apparente 1,66 t/h pour différents réglages en position serrée.



Chambre de Broyage • Ouvertures D'Alimentation • Dimensions du Produit • Débits (Circuit Ferme)

• Produit Fini Net (Crible Sous-Dimension)
 ■ Tonnage Total Approche Horaire Passant par le Broyeur (Produit Fini Net Plus Recirculation de la Charge)

Dimensions	Type de Chambre de Broyage	Réglage de décharge minimum recommande	Ouverture d'alimentation avec réglage recommande de décharge minimale		Débits en tonnes (2000 Lbs) par heure fondées sur un fonctionnement en circuit fermé															
			Côté fermé	Côté ouvert	3 mm		5 mm		6 mm		10 mm		13 mm		16 mm		19 mm		25 mm	
					•	■	•	■	•	■	•	■	•	■	•	■	•	■	•	■
2'	Fin Gros	3 mm 5 mm	19 mm	35 mm	6	18	8	16	10	20	14	21	20	30	25	35				
			38 mm	51 mm	10	20	13	26	18	27	25	40	30	45						
3'	Fin Moyen Gros	3 mm	13 mm	41 mm	15	45	20	40	30	60	40	60	50	75	60	80	65	85		
		5 mm	25 mm	51 mm	15	45			30	60	40	60	55	80	60	90	70	95	30	100
		8 mm	51 mm	78 mm					35	70	45	75	60	90	70	105	75	110	30	120
4-1/4'	Fin Moyen Gros Extra Gros	3 mm	29 mm	64 mm	20	60	35	70	50	100	75	110	100	150	125	160				
		5 mm	41 mm	76 mm					55	110	80	120	105	160	125	160	150	170		
		8 mm	70 mm	102 mm					60	120	80	120	110	165	140	210	175	240	200	250
		16 mm	121 mm	140 mm					60	120	80	120	110	165	140	210	175	240	200	250
5-1/2'	Fin Moyen Gros Extra Gros	5 mm	35 mm	70 mm			65	130	90	180	135	200	170	230	210	240				
		8 mm	54 mm	89 mm					90	180	135	200	175	230	210	250	245	270	280	300
		10 mm	96 mm	133 mm							140	210	175	260	220	330	250	350	220	360
		13 mm	152 mm	184 mm									175	280	220	330	250	350	220	360
7'	Fin Moyen Gros Extra Gros	5 mm	51 mm	95 mm			120	240	160	320	240	360	300	450	360	450	420	500		
		10 mm	98 mm	146 mm							240	360	300	460	360	500	420	500	500	520
		13 mm	127 mm	174 mm									300	460	360	550	450	560	550	580
		16 mm	160 mm	210 mm									300	450	360	600	450	620	550	650

Pour obtenir un produit plus fin que celui du réglage minimum ou si des conditions particulières existent, écrire pour demander une analyse de votre problème particulier par le service d'études.

Tableau 1-6 : Débits du broyeur tête courte

Le débit de grains de classe 0/6 récupérable au réglage de décharge minimum de 6 mm est de 55 tonnes par heure. Pour un minerai de densité 0,78 tel que l'attapulgitite ce débit est de l'ordre de :

$$0,78 \text{ kg/m}^3 / 1,66 \text{ kg/m}^3 \times 55 \text{ t/h} = 25,84 \text{ tonnes/heure}$$

Ce débit est relativement faible.

1-2-4-6 Le four sécheur

Il appartient à la famille des fours tournants, appelés aussi tambours de séchage.

Ses caractéristiques nominales de débit sont de 45 tonnes par heure de produit humide et 34 tonnes par heure de produit sec ; soit un séchage de 22%. Son axe est incliné d'un angle de 5° par rapport à l'horizontale. La chambre de séchage, appelée virole, a une longueur de 20 m et tourne à une vitesse de rotation de 6 tours par minute. Le schéma d'un four tournant est fourni à la figure 1-4.

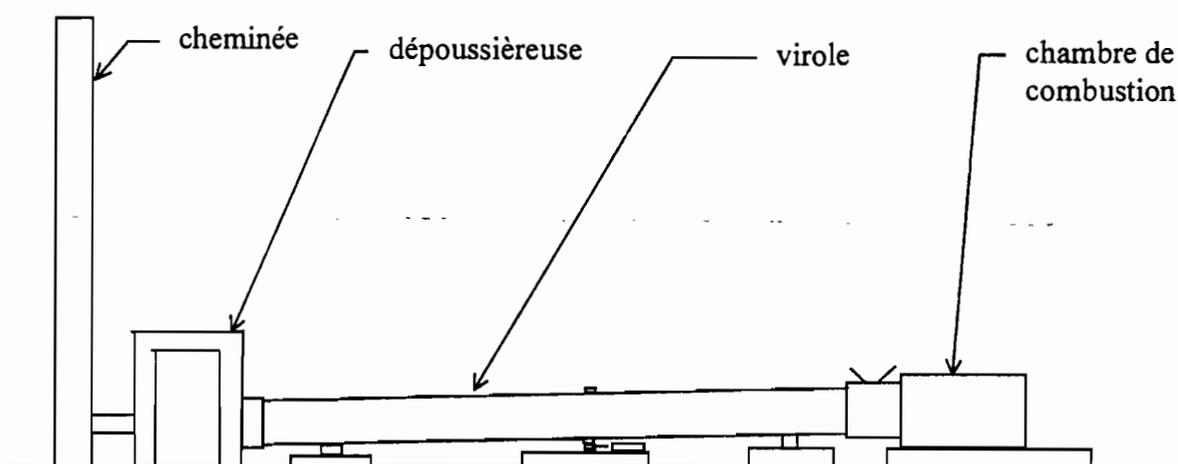


Figure 1-5 : Schéma d'un four tournant.

Le four fonctionne à courant parallèle. Il est composé d'une chambre de combustion équipée d'un brûleur à injection dont la pulvérisation du combustible est assurée par de l'air comprimé entre 4,5 et 6 bar. La paroi intérieure est tapissée de 3 couches de briques réfractaires dont la température de fusion est de 1400°C .

Le combustible utilisé est le fuel-oil 380. Un traçage électrique le long de toutes les conduites permet de relever sa température jusqu'à 40°C . Avant d'entrer dans le brûleur, le fuel est préchauffé, dans un réchauffeur de puissance 72 kW, jusqu'à 120°C .

L'air de combustion est aspiré grâce à un ventilateur entraîné par un moteur de 22 kW. Un deuxième ventilateur, appelé ventilateur de dilution, sert à rabaisser la température de la chambre de combustion quand celle-ci dépasse la valeur donnée en consigne par le conducteur.

de four. Il est entraîné par un moteur de 11 kW. Les deux moteurs sont alimentés à la tension du réseau.

La régulation des débits de combustion et de dilution est assurée par des ventelles. Les ouvertures et fermetures de ces dernières sont asservies grâce à des régulateurs PID (Proportionnelle - Intégrale - Dérivée) associés à des servomoteurs. L'ouverture des ventelles de combustion est directement liée à la vanne de régulation du débit de fuel. Par contre, les ventelles de dilution ne s'ouvrent que si la température de la chambre de combustion dépasse la consigne.

La jonction entre le tube sécheur et la chambre de combustion est assurée par la buse. C'est par cette dernière que le produit à sécher entre dans le tube sécheur. Sur la paroi interne du tambour sont fixées des ailettes encore appelées releveurs. Elle forment des poches qui, au cours d'un cycle de rotation se remplissent de grains qu'elles vont laisser tomber en chute libre dans le courant de gaz chauds. Ainsi, chaque ailette soulève et rejette progressivement sa charge favorisant alors un échange de chaleur entre les gaz chauds et le produit à sécher.

L'aspiration des fumées est assurée par un ventilateur cyclone entraîné par un moteur de 75 kW. Il est alimenté par l'intermédiaire d'un variateur de vitesse qui régule le débit de circulation des gaz chauds en fonction de la consigne de dépression voulue dans le tube et fixée par le conducteur de four.

Les fumées sortent de la virole à une température fixée par le conducteur de four. C'est cette température qui sert de variable de process pour la régulation du débit de fuel et aussi indirectement pour celui de l'air de combustion.

Au bout de la virole est placée une dépoussiéreuse. Comme son nom l'indique, elle sert à réduire les poussières contenues dans les fumées. Cette poussière est recueillie et déversée sur le transporteur F5.

La chaîne séchage comme la chaîne concassage fonctionne grâce à la technique des relais. L'automate initialement utilisé est de type SUCOS PS 21, une marque très peu connue.

Actuellement, il n'est plus en service et sa dépose se fera d'ici peu. La console de commande et le listing des entrées/sorties ont été emmenés par les équipes de montage de l'usine.

I-2-4-7 Les cribles

Tous les cribles employés dans la chaîne de traitement sont des cribles inclinés à châssis vibrant. Le tableau 1-7 ci-dessous donne leurs principales caractéristiques.

Référence SSPT	CRIBLES						
	A10	A7	C1	C2	C10	D6	D8
Constructeur	Bergeaud	Bergeaud	Chauvin	Chauvin	Chauvin	Chauvin	Chauvin
Nbre d'étages	3	2	2	2	2	1	2
Dimensions	7625x2630	7625x2630	6400x2260	6400x2260	6400x2260	4724x1940	3000x1660
Poids (Kg)	19 300	15 300	6 900	6 900	6 900	4500	1 600
Puissance (kW)	2x 18.5	2x22	2x7.5	2x7.5	2x7.5	1x7.5	2x7.5
Surface (m ²)	20	20	11	11	11	8.5	11
Fabrication en	1986	1984	1985	1985	1985	1985	1998
Mise en service	87	85	85	85	85	85	1998

Tableau 1-7 : Caractéristiques des cribles de la chaîne de traitement

Ils sont équipés de grilles métalliques à orifices carrés ou rectangulaires.

La disposition des cribles ainsi que les mailles de leurs grilles sont fournies dans l'annexe A-3: Paramètres de marche sur chaîne de traitement.

1-2-4-8 Les transporteurs

Les transporteurs à courroies sont utilisés pour la manutention du produit entre les différents postes de traitement et de stockage : broyeurs, cribles, fours et trémies.

Les données relatives aux transporteurs de la chaîne concassage sont consignées dans le tableau 1-8 ci-dessous.

Référence SSPT	TRANSPORTEURS							
	A4	A6	B1	B3	B4	B6	B7	C7
Longueur (m)	11	47	23	14	19	11	35	70
Pente (°)	15.82		11.28	16.5	10.93	17.29	17.73	16.26
Débit (t/h)	140	290	70	70	85	85	135	95
P (kW)	3	18.5	3	3	3	3	7.5	11
Taille des grains	0/70	0/70	15/70	0/30	5/15	0/6	0/5	0,8/5

Tableau 1-8 : Caractéristiques des transporteurs du concassage

Les transporteurs sont dimensionnés pour des débits nettement supérieurs au débit moyen de production qui est de 26,5 tonnes par heure.

1-2-4-9 Les trémies de stockage

La chaîne de traitement est équipée de trois trémies de stockage :

- une trémie de stock humide de capacité 500 tonnes qui reçoit le produit humide provenant du concassage et sert à alimenter la ligne séchage ;
- une trémie de stockage du produit sec ou trémie de chargement, qui est au bout de la ligne séchage et sert à stocker le produit fini. Sa capacité est de 450 tonnes ;
- une trémie de stockage des fines placée au bout du circuit d'évacuation des fines.

1-2-4-10 Rendements électriques des broyeurs

Grâce à un MAP 500 et une pince ampèremétrique, nous avons mesuré les puissances consommées en charge et à vide des broyeurs de la chaîne. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 1-9 ci-dessous.

Puissances	Broyeurs						
	Concasseur			Moritz			Symons
	moteur	moteur	total	usine	mine	total	
nominale	50	32	82	75	75	150	132
en charge	24,2	25,7	49,9	36,8	56,1	92,9	49,4
à vide	17,9	20,3	38,2	22,2	26,4	48,6	39,6
utile	6,3	5,4	11,7	14,6	29,7	44,3	9,8
η	0,26	0,21	0,23	0,40	0,53	0,48	0,20

Tableau 1-9 : Rendements électriques des broyeurs de la ligne concassage

Les puissances en charge et à vide sont mesurées sur une période de 2 mn. La puissance utile est la différence entre la puissance en charge et la puissance à vide. C'est la puissance effectivement dépensée pour la fragmentation.

Sur le tableau 1-9, on voit que les rendements des appareils sont faibles et particulièrement pour le concasseur primaire et le broyeur giratoire Symons.

De même, les puissances totales absorbées en charge sont faibles par rapport aux puissances nominales des moteurs.

EXAMEN DE L'EXISTANT

Ce chapitre est une analyse critique du précédent.

2-1 La production

Les productions réalisées sont faibles par rapport aux capacités des chaînes séchage et concassage. Déjà, le débit moyen de production, rapporté au temps réel de marche, qui est de 26,5 tonnes par heure, est nettement inférieur au débit nominal de produit fini du four qui est de 34 tonnes par heure.

Les pertes de temps dues aux divers arrêts sont trop élevées. La chaîne ne tourne que pendant 62% du temps d'embauche.

Les pertes de temps se traduisent principalement par une faiblesse de la production réalisée. Si la chaîne tourne à la capacité du four pour le même temps de marche journalier (20 heures) et la même moyenne mensuelle (24,4 jours) un tonnage de près de 200 000 tonnes aller être réalisé.

2-2 La configuration des chaînes concassage et séchage

Un broyeur donné ne peut travailler efficacement que sur des grains dont les dimensions sont comprises entre des limites déterminées. En dehors de celles-ci, les rendements diminuent rapidement, les consommations d'énergie électrique deviennent prohibitives et les risques de sur-broyage augmentent. Ainsi, il y a lieu de déterminer le schéma le plus approprié. Il peut comporter plusieurs étages de concassages.

Chaque opération de fragmentation peut être effectuée en circuit ouvert ou en circuit fermé. Dans le premier cas, le produit doit être réduit à sa granulométrie recherchée après un seul passage dans le broyeur. Dans le second cas, le produit broyé passe dans un appareil de

classement granulométrique qui sort du circuit la fraction ayant atteint la finesse requise et retourne à l'alimentation du broyeur les grains insuffisamment broyés. Cette fraction s'appelle charge circulante.

En générale, le circuit fermé s'impose chaque fois que l'on cherche à obtenir une granulométrie aussi serrée que possible.

2-2-1 Le concassage

L'adoption du circuit fermé au dernier étage de broyage permet d'obtenir un produit final sans surclassé. Les appareils dans la chaîne n'ont pas besoin d'une surveillance aussi constante que quand ils sont en circuit ouvert. Les défauts de réglage ne se répercutent pas sur la granulométrie du produit.

Dans ce type de circuit le choix de la charge circulante doit être fait avec soin. C'est elle qui détermine la taille de la surface criblante et la capacité des transporteurs.

La configuration de la chaîne actuelle devrait permettre de minimiser les charges circulantes si les appareils de fragmentation sont bien réglés et la surface criblante bien dimensionnée. En effet le produit sortant du concasseur est mélangé avec celui sortant des broyeurs Moritz et Symons pour être envoyé vers les cribles Ellivar.

Avec un circuit de trois étages pour un concassage grossier, il est possible de broyer de gros blocs de minerais. En effet, dans ce cas les rapports de réduction des appareils de fragmentation peuvent être relativement élevés. Ils peuvent aller de 4/1 (cas du concassage grossier de roches dures) jusqu'à 100/1 (cas de la plus part des appareils de pulvérisation) (Blanc, 1978).

Les rapports de réduction admissibles des concasseurs à cylindres dentés, des concasseurs à marteaux à deux rotors et des granulateurs giratoires sont respectivement compris entre 4/1 et 5/1, 20/1 et 30/1 et enfin 6/1 et 8/1 (Blanc, 1978). L'intervalle donné pour le giratoire correspond aux matériaux mi-durs à extra-durs ; pour un matériau tendre, ces valeurs sont

plus élevées.

Ainsi la juxtaposition des ces trois appareils donne une réduction au moins égale au produit des rapports de réduction minima admissibles, soit 480 !

Une sous utilisation des appareils de fragmentation découle de la faiblesse de la réduction totale que doit subir le minerai durant son passage dans la chaîne. En effet, la réduction totale désirée est de 39,7. Elle est donnée par le rapport entre la taille maximale des blocs à l'entrée du concasseur (250 mm) et la taille maximale des grains du produit fini (6,3 mm).

Suite aux problèmes rencontrés par les équipes de surveillance de la grille, il faudrait envisager une augmentation de son maillage. Elle serait même nécessaire dans le cas d'un doublement de la production. Avec cette augmentation de la maille de la grille on pourrait mettre fin à l'utilisation du bulldozer pour le foisonnement du tout-venant. Il en découlerait alors une réduction des fines dans le minerai brut.

2-2-2 Le séchage

Deux cribles sont en série sur la chaîne, le D6 et le D8. Par cette disposition, on améliore l'efficacité de criblage (Blanc, 1980) mais on aboutit à une chaîne plus encombrante et plus coûteuse. La consommation d'énergie électrique, les risques de pannes et les frais d'entretien augmentent.

La partie du transporteur G1, située entre la trémie de stock humide C5 et le crible D6 devrait être supprimée puisque le produit humide n'est jamais commandé.

2-3 Le choix des équipements

Des types très variés d'appareils sont disponibles sur le marché pour les besoins en préparation mécanique des minerais. A fin d'y parvenir dans les meilleures conditions, le choix des équipements doit être judicieusement mené. Les critères généralement pris en compte sont principalement :

- la dimension des plus gros morceaux ;
- le débit à traiter ;
- le rapport de réduction des appareils de fragmentation ;
- le caractère abrasif du minerai ;
- l'humidité du produit ;
- le caractère plus ou moins plastique du minerai ou le risque de bourrage ;
- la granulométrie du produit concassé ;
- la rusticité du matériel et sa facilité d'entretien ;
- le coût du matériel et des installations ;
- les coûts de fonctionnement.

2-3-1. La grille de protection

La grille sur la trémie d'alimentation du concasseur est d'une importance capitale. Elle limite la taille des blocs aux dimensions de la maille. C'est sur la base de ces dernières que le concasseur primaire est dimensionné.

Pour les petites et moyennes installations, le triage de l'alimentation du concasseur primaire se fait facilement. Les gros blocs sont présentés dans le sens le plus favorable ou tout simplement cassés à la masse par des ouvriers.

Quand l'extraction du minerai est entièrement mécanisée et qu'on charge le minerai dans des camions de grande capacité, la surveillance de l'alimentation par des opérateurs devient pénible et imprudente. Dès lors le choix du concasseur primaire et de son dispositif d'alimentation prend une grande importance. La proportion des gros blocs peut être très élevée et certains d'entre eux peuvent être mal présentés et se coincer à l'ouverture ou obturer les conduits de transfert. Une de ces situations peut arrêter les installations pendant un temps très long ou créer des goulots d'étranglement.

Déterminer la maille de la grille équivaut à définir la proportion de blocs à casser à la masse. L'utilisation des pelles mécaniques pour l'extraction du minerai engendre dans le tout-venant

des blocs de grosses dimensions, particulièrement dans le cas des roches schisteuses telles que l'attapulgite. Elles donnent beaucoup de blocs de forme plate. Ainsi, une augmentation de la maille de la grille ou le recours aux recasseurs blocs serait nécessaire. Les recasseurs blocs sont des dispositifs à commande hydraulique ou électrique qui servent au préconcassage des gros blocs à la grille.

Le concasseur de diamètre 1 400 mm est surdimensionné par rapport à la grille de maille 250 x 250. En effet un tel appareil peut admettre des blocs dont la taille peut atteindre 60 % du diamètre des rotors (Blanc, 1978). Autrement dit l'appareil utilisé sur la chaîne actuelle est en mesure d'admettre des blocs de 840 mm d'épaisseur.

2-3-2 Le distributeur à tiroir

Le fort taux d'humidité (30 %) et l'étendu du profil granulométrique (0/250) du tout venant rendent sa distribution difficile. Les distributeurs à tiroir ou à barreaux sont plus adaptés à la nature du produit, contrairement aux courroies distributrices. Malheureusement ils ont un débit très irrégulier. Par exemple, s'ils sont entraînés par un système bielle - manivelle, le produit n'est véhiculé que sur une demi période du mouvement du tablier ; le concasseur doit donc être dimensionné afin qu'il puisse supporter les pointes de débits.

La présence du rideau de lourdes chaînes à la sortie du distributeur réduit l'irrégularité de l'alimentation du concasseur.

2-3-3 Le concasseur à pointes

Il est particulièrement adapté au concassage primaire de roches tendres et moyennement dures, même lorsqu'elles sont humides et assez collantes. Il peut opérer par écrasement entre les tambours munis de dents, par incision et arrachement au moyen des dites dents. Les appareils à cylindres à grandes vitesses agissent même par percussion. La production des fines dues à l'écrasement et au frottement est réduite au minimum.

En plus, les concasseurs à cylindres sont simples, rustiques et nécessitent très peu d'entretien.

Les modes de rupture du produit (cisaillement, percussion, tranchage ou déchiquetage) se retrouvent presque exclusivement chez les concasseurs à 1 ou 2 cylindre(s) denté(s). Cependant, le premier type d'appareil n'est recommandé que dans le cas des produits non abrasifs. Les roches abrasives entraînent une usure rapide de la mâchoire. Dès lors, nous suggérons vivement l'utilisation de concasseurs à cylindres dentés pour le traitement de l'attapulgite.

Pour un bon fonctionnement d'un concasseur à cylindres dentés, les organes de travail doivent être des lames ou pointes à angles aigus. Également les modes de rupture ci haut citées ne peuvent être obtenues que sous certaines conditions de vitesse des organes de travail. Par exemple (Blanc, 1978) :

- le cisaillement est obtenu avec une vitesse de 4 à 8 m par seconde ;
- la percussion au moyen d'organes mobiles nécessite une vitesse entre 8 et m /s. Cette vitesse est d'autant plus élevée que les morceaux à concasser sont plus petits.

Ainsi, une vitesse périphérique des tambours de 8 m/s devrait permettre un broyage convenable de l'attapulgite.

2-3-4 Le broyeur giratoire

Bien que les Symons Cônes permettent un concassage fin (jusqu'à 10 mm), ils sont conçus pour les minerais durs, abrasifs, très peu humides et non collants. Dans notre pays, ils se distinguent particulièrement dans le concassage du basalte et du silicite, des minerais caractérisés par leur dureté.

Dans le cas d'un minerai collant, la capacité des broyeurs coniques diminue considérablement à cause du colmatage.

Leur utilisation dans le cas d'un minerai tendre à mi dur engendre une consommation d'énergie électrique trop élevée. En effet, une part importante de la puissance absorbée sert à

vaincre la grande inertie des organes mobiles de l'appareil.

2-3-5 Le broyeur à marteaux

Les concasseurs à marteaux ne sont pas adaptés à la préparation mécanique des roches relativement abrasives. Ils ne sont pas recommandés pour le traitement des minerais contenant plus de 10% de silice.

La présence d'environ 70% de silice dans l'attapulgite combinée à une vitesse de rotation élevée des rotors (274 tours par minute), donc de la charge circulante, engendre une usure extrêmement rapide de la grille et des marteaux.

Ce type d'appareil est conçu pour obtenir des rapports de réduction compris entre 10/1 et 30/1 (Blanc, 1978) ; il produit donc beaucoup d'éléments ultra fins.

Si l'alimentation n'est pas correcte, nombreux sont les blocs qui ne subissent pas de percussion de la part des marteaux donc ne sont pas broyés. Si la vitesse de chute des grains est insuffisante, ils sont le plus souvent frappés par la face externe du marteau. Ce dernier s'arrondit rapidement par usure. Les blocs sont alors lancés dans une mauvaise direction et la capacité du broyeur diminue considérablement.

En outre, les concasseurs à marteaux destinés aux produits argileux particulièrement collants sont équipés de plaques ou enclumes mobiles montées comme une chenille de tracteur, de telle sorte que la surface de travail se renouvelle constamment (Sirois, 1967). Ainsi, s'il y a accumulation de matières sur les plaques, celles-ci peuvent être nettoyées et le colmatage peut être ainsi évité.

2-3-6 Le four sécheur

La capacité de séchage du four semble faible par rapport à la production visée. Si tel est le cas, il faut recalculer certains paramètres du four afin d'augmenter sa capacité.

2-3-7 Les cribles

Les surfaces criblantes sont constantes, sauf en cas de panne, quelque soit le débit ou l'état du produit. Une telle situation réduit l'efficacité des cribles. En effet, si la surface est surdimensionnée, le crible donne beaucoup de surclassés, si elle est sous-dimensionnée, on a un mauvais criblage du produit.

Le fort taux d'humidité et sa nature collante rendent le produit difficilement criblable (Blanc, 1980). Il colmate facilement les grilles et engendre des arrêts fréquents pour décolmatage en plus des pertes d'efficacité de criblage.

Les grilles ne sont pas adaptés aux produits colmatants. elles sont recommandées dans le criblage des éléments volumineux et lourds.

2-3-8 Les trémies de stockage

Les trémies de stockage ont une importance capitale dans le fonctionnement de la chaîne.

La capacité de la trémie de stock sec est relativement faible. Pour une production de 34 t/h correspondant au débit nominal de produit fini du four, il faut le vider toutes les 13 heures, sinon stocker le produit fini à terre. Si cette solution a peu d'inconvénients en saison sèche : (pertes de matières, ramassage ou génération de fines à la récupération), elle n'est pas envisageable en hivernage car le produit ne peut être bien protégé contre la pluie et le ruissellement.

Grâce à la trémie de stock humide et au stockage de produit humide à terre, la chaîne séchage dispose d'une certaine autonomie par rapport au concassage. Les stocks sont utilisés pour alimenter le séchage en cas d'arrêt du concassage.

2-3-9 Les rendements des broyeurs

Les rendements des broyeurs en service sont trop faibles. Ces faibles rendements découlent d'une puissance absorbée à vide trop élevée alors que le minerai à traiter est tendre ; l'énergie nécessaire à sa fragmentation est faible.

Selon Edmond BLANC (1978), « le rendement mécanique (rapport entre l'énergie absorbée par la machine et l'énergie effectivement consacrée à la fragmentation) de toutes les machines de fragmentation modernes est relativement satisfaisant (85 à 95 %) ».

Un faible rendement est alors le résultat d'un mauvais choix ou d'une mauvaise conception de l'appareil ; autrement dit d'un appareil non convenable.

Le rendement relativement élevé du Moritz (0,48) se justifie par la théorie de Rittinger qui stipule que pour le broyage fin, l'énergie consommée est proportionnelle à la surface produite après le broyage. Cette surface est une fonction décroissante de la taille des grains.

Pour le broyeur giratoire la valeur du rendement (0,20) peut se justifier par la grande masse de ses organes et la vitesse de rotation élevée.

Quand au concasseur à cylindres dentés, l'importance de la puissance absorbée à vide (38,2 kW) est à lier a priori à la grande inertie des volants d'entraînement des tambours (3 m de diamètre et une masse 2 300 kg chacun).

Chapitre 3**PROPOSITIONS DE SOLUTIONS****3-1 Les objectifs et les contraintes de production**

Les objectifs à atteindre et les restrictions au projet sont les suivants:

- la production visée est de 200.000 tonnes par an ;
- le mois d'août est réservé pour les congés collectifs ;
- la chaîne concassage ne fonctionne pas pendant les 3 mois d'hivernage ;
- la chaîne fonctionne en moyenne 22 jours par mois ;
- la disponibilité des équipements est prise égale à 80% ;
- le taux de pertes par fines doit être inférieur à 32,5 %, le taux actuel ;
- la maille de la grille doit être au moins supérieure à 500 mm.

3-2 La production : nécessité d'une étude du travail

Une étude du travail de la chaîne de traitement est nécessaire pour trouver une solution aux problèmes liés à l'indisponibilité des équipements et quelques soient leurs origines : arrêts pour décolmatage, pannes électriques et mécaniques, délestages, ruptures de bandes de transporteurs, etc.

En effet, les principaux objectifs de l'étude du travail sont (Sarr, 1997) :

- l'élimination du gaspillage d'efforts et d'énergie ;
- la diminution du contenu de travail (temps d'exécution d'une opération) ;
- l'établissement et le maintien de standards de production.

La recherche perpétuelle de ces trois objectifs permettrait à terme une exploitation efficace et efficiente de toute chaîne de production.

3-3 La configuration de la chaîne

D'après les contraintes, la maille de la grille doit être supérieure à 500 mm. Comme le rapport de réduction des concasseurs cylindriques est limité à 5/1, la configuration de la chaîne actuelle doit être modifiée sinon de gros blocs seront envoyés vers les cribles Ellivar.

3-3-1 Solutions proposées

Nous nous proposons d'étudier la configuration de la ligne séchage et puis le concassage.

3-3-1-1 Le schéma de la ligne séchage

Nous proposons la conservation du schéma actuel avec la suppression du tronçon du transporteur G1 compris entre la trémie de stock humide et le crible D8. Sa configuration est donnée à la figure 3-1 ci-dessous.

Le contenu de la trémie de stock humide est envoyé vers le four sécheur puis criblé par les Chauvin. Il est ensuite envoyé dans la trémie de chargement ou vers le stock sec.

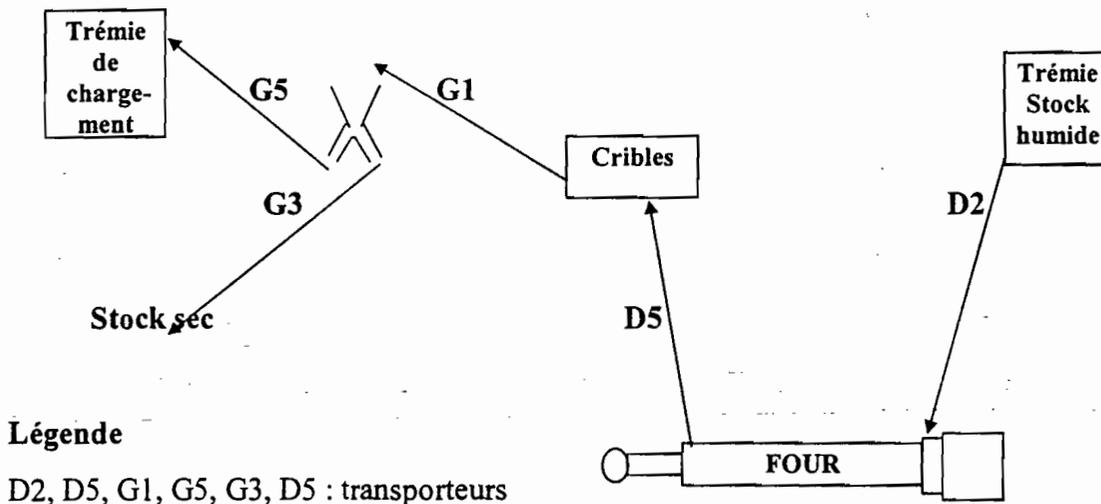


Figure 3-1: Schéma de la ligne séchage

3-3-1-2 Le schéma de la ligne concassage

Toute solution proposée pour le schéma de la ligne concassage doit respecter la contrainte sur la production de fines ; les pertes par fines doivent être inférieures à 32,5% du tonnage à traiter.

D'après les critiques sur la chaîne de concassage actuelle, un circuit à trois stades de réduction, avec en tête le concasseur à pontes, devrait permettre une réduction de blocs de 840 mm.

Pour réduire la production d'éléments fins, il est nécessaire d'utiliser les appareils de fragmentation dans les limites des rapports de réduction spécifiées par les constructeurs. Pour le concassage grossier, ces dernières sont généralement comprises entre 4/1 et 5/1.

3-3-1-2-1 Méthodologie de recherche d'idées

La méthodologie de recherche des idées que nous adoptons est celle du système idéal. La méthode du système idéal consiste à imaginer, sans tenir compte des contingences actuelles, un dispositif qui donnerait la plus grande satisfaction possible, c'est à dire qui correspondrait le plus exactement aux fonctions décrites et retenues. Ayant découvert cette solution idéale, on ne peut, la plupart du temps, la réaliser exactement mais on cherche à s'en rapprocher le plus possible et les solutions ainsi proposées, complètement dégagées de celles qui sont en vigueur actuellement, apportent très souvent une amélioration considérable par rapport à celles-ci (Retière, 1998).

3-3-1-2-2 Le schéma idéal proposé

Le schéma proposé pour une base de travail est montré à la figure 3-2 ci-après. C'est l'un des circuits les plus complexes : un broyage à 3 étages avec double circuit fermé. La pertinence de chaque élément doit être justifiée par les profils granulométriques des produits à la sortie des appareils de fragmentation, mais aussi et surtout par les objectifs et les contraintes du projet.

Le produit brut, le passant de la grille de protection alimente, le concasseur primaire. A la sortie de cet appareil, le produit est envoyé vers le premier étage de cribles. Ces derniers servent à séparer le produit en trois classes. Les gros grains sont envoyés vers le broyeur secondaire, le produit intermédiaire vers le tertiaire et les grains, qui ont au plus une taille de 6,3 mm sont envoyés vers la sortie du circuit.

Les produits sortant des broyeurs secondaire et tertiaire sont envoyés vers les cribles du dernier étage. Ces derniers peuvent éventuellement être les cribles Ellivar actuellement en service.

Les grains suffisamment broyés sont envoyés vers la sortie du circuit et les refus rejoignent l'alimentation du broyeur tertiaire.

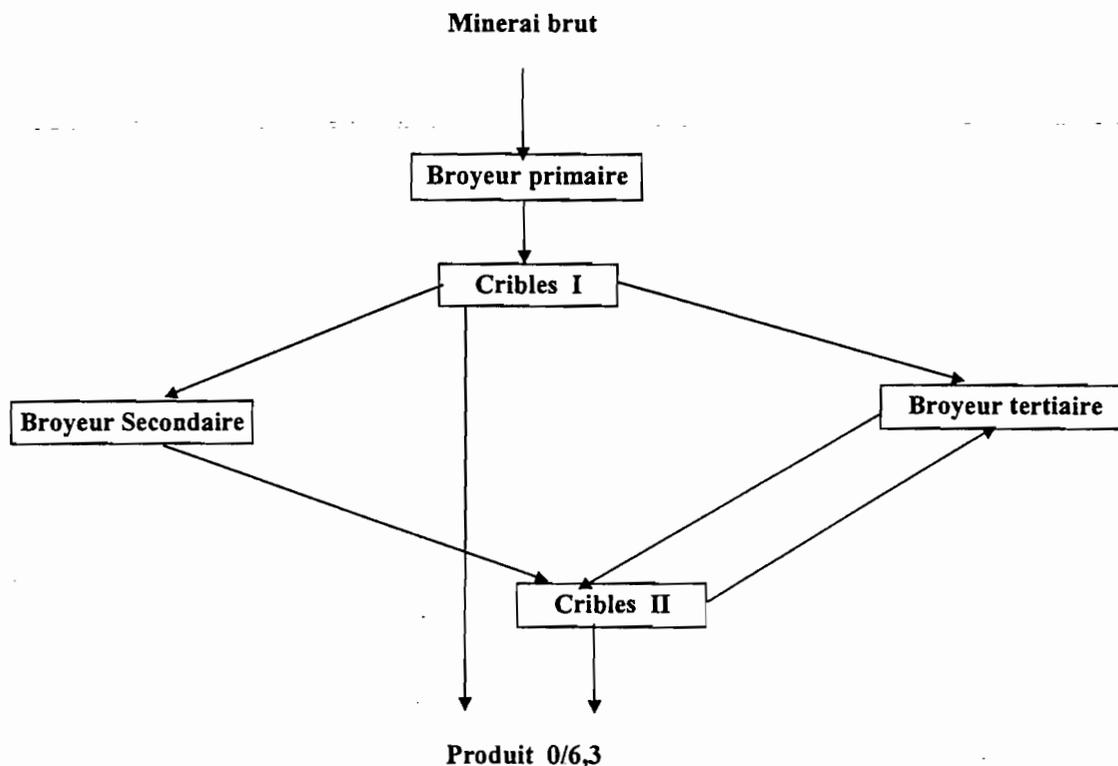


Figure 3-2 : Schéma idéal proposé pour le concassage

Le produit 0/6,3 est ensuite envoyé vers les cribles Chauvin pour l'extraction des fines (0/1).

3-3-2 Etudes de praticabilités des solutions

Il s'agit d'évaluer sommairement la possibilité de réaliser les solutions proposées tout en

respectant les contraintes.

Pour la chaîne séchage, une simple modification sur un transporteur est proposée. Une telle modification peut être réalisée par le service Maintenance de la société.

La praticabilité de la solution proposée pour la chaîne concassage doit être étudiée suivant les aspects physiques, environnementaux, économiques et le facteur temps.

3-3-2-1 Praticabilité et aspects physiques du schéma idéal

La solution idéale proposée est scientifiquement et techniquement réalisable. En plus, elle n'exige pas une technologie plus sophistiquée que celle de la chaîne actuelle

La seule réserve à émettre se situe sur l'encombrement. On peut se demander si les emplacements des broyeurs secondaire et tertiaire ne rendraient pas la solution trop encombrante. En effet, la pente maximale des bandes transporteuses pour les silicates de densité en vrac 0,78 t/m³ est de 15° (Documentation Dunlop).

La hauteur du point de déversement du produit sur les cribles Ellivar étant de 12 m, la longueur de transporteur minimale nécessaire pour évacuer le produit broyé du broyeur secondaire ou tertiaire est de :

$$12 \text{ m} / \tan(15^\circ) = 45 \text{ m}$$

alors que celui de l'alimentation aura au moins une longueur de 15 m, si l'on admet une hauteur du broyeur égale à 4 m.

Ainsi, la solution proposée a un encombrement supérieure à la chaîne actuelle. En effet, si l'on assimile la trémie A5, les cribles Ellivar A10 et le broyeur Symons B2 à des points, on obtient un triangle dont les côtés valent 47 m, 23 m et 14 m correspondant respectivement aux longueurs des transporteurs A6, B1 et B3, alors que pour la solution proposée, on a au moins les longueurs de 47 m, 45 m et 14 m.

3-3-2-2 Praticabilité et aspects économiques du schéma idéal

Le schéma idéal est une restructuration totale de la chaîne actuelle. Les coûts de sa mise en oeuvre peuvent être élevés par rapport à une solution dans laquelle on conserve certaines bandes transporteuses.

3-3-2-3 Praticabilité et facteurs de temps du schéma idéal

La tâche qui demande le plus de temps dans la solution idéale est sans doute l'installation des cribles et des broyeurs. Sa durée de réalisation avoisine celle de toute autre solution dans laquelle le remplacement des appareils de fragmentation est nécessaire.

3-3-2-4 Praticabilité et facteurs environnementaux du schéma idéal

Côté environnemental, la solution idéale sera sans doute meilleure que la chaîne actuelle. Elle devrait permettre une réduction de la production de fines et réduirait donc considérablement le niveau de pollution de l'atmosphère.

3-3-2-5 Conclusion de l'étude de praticabilité

La principale limitation à l'adoption de la solution idéale est son encombrement.

Ce dernier tient surtout de la longueur des transporteurs d'évacuation des produits broyés vers les cribles du troisième étage.

La praticabilité des aspects économiques et des facteurs de temps peuvent être améliorées en adaptant dans la solution retenue une partie de l'existant.

3-3-3 Modifications de la solution idéale

Pour diminuer l'encombrement de la solution initialement proposée, les emplacements des broyeurs secondaire et tertiaire doivent être décalés vers l'emplacement du transporteur A6.

Aucune modification ne peut être apportée sur les caractéristiques des transporteurs

d'alimentation des broyeurs secondaire et tertiaire car il faut respecter la pente maximale des transporteurs. Si l'on maintient la longueur de ces derniers, les différentes positions possibles des broyeurs secondaire et tertiaire décrivent des cercles concentriques dont le centre est le crible alimenté par le concasseur primaire.

Le transporteur A6 peut servir à l'évacuation des produits broyés par les concasseurs secondaire et tertiaire. Pour cela, les transporteurs qui servent dans la solution idéale à alimenter les cribles du dernier étage vont déverser leur contenu sur le transporteur A6 par l'intermédiaire d'une trémie collectrice.

Le transporteur dans la solution idéale utilisé pour l'évacuation du produit fini résultant du concassage primaire peut être supprimé. En effet, si l'on se base sur les courbes d'analyses granulométriques fournies dans l'annexe A-3, le produit de taille maximale 500, broyé par un concasseur à cylindres dentés, réglé pour une réduction de 4/1, donne un produit dont la taille maximale des grains est de 160 mm et qui contient 5% de grains de taille inférieure à 6,3 mm. Ce débit étant faible, on peut se passer de ce transporteur.

A partir de ces modifications on aboutit à la solution suivante, représentée à la figure 3-3.

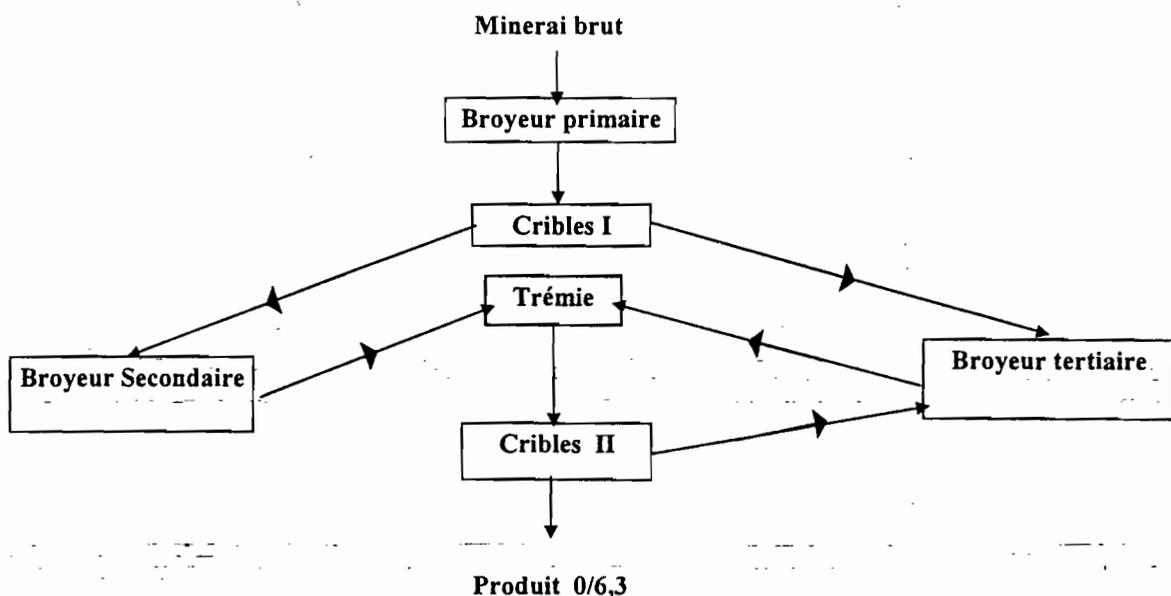


Figure 3-3 : Schéma idéal modifié pour le concassage

La solution proposée est physiquement réalisable. Les emplacements des broyeurs secondaire et tertiaire dépend principalement de l'encombrement de la chaîne que l'on se fixe, de l'espace requis pour l'entretien des équipements et pour la manutention par des engins de levage.

3-3-4 Implantation des broyeurs

La possibilité de placer les broyeurs secondaire et tertiaire aux endroits actuellement occupés par le Moritz et le Symons est à étudier. Elle dépend principalement des vibrations et de la masse des appareils qui seront choisis.

Les concasseurs à cylindres dentés de faibles diamètres ont un poids total faible. Ainsi, dans le choix des appareils de remplacement, nous suggérons qu'une priorité soit mise sur les amplitudes des vibrations et sur les masses des volants.

3-4 Détermination des débits

La détermination des débits se fait à partir de la production visée sur chaque ligne et sur la base des temps de marche de chaque ligne.

3-4-1 Les débits dans la ligne séchage

Pour déterminer le débit moyen de produits sur chaque tronçon de la ligne, il est nécessaire de calculer d'abord le temps de marche annuel de la ligne.

3-4-1-1 Le temps de marche de la ligne séchage

Partant des contraintes de production, la chaîne fonctionne pendant 11 mois sur les 12 que compte l'année ; le mois d'août étant réservé aux congés collectifs. Le nombre moyen de jours ouvrables dans le mois est de 22 et la disponibilité des équipements est prise égale à 80%.

Ainsi, le nombre moyen d'heures de marche par an est de:

$$80\% \times 11 \text{ mois} \times 22 \text{ jours/mois} \times 24 \text{ heures/jour} = 4646,4 \text{ heures .}$$

3-4-1-2 Les débits des différents tronçons de la ligne séchage

La production annuelle visée est de 200 000 tonnes. Les différentes pertes de matières à prendre en compte sur la ligne séchage sont :

- les pertes en eau dues au séchage au four : elles représentent au maximum 22% du débit entrant dans le four. Le minerai entre dans le tube sécheur avec en moyenne une humidité de 30% et doit être séché à 8% s'il s'agit du minerai de Allou Kagne et à 12% si c'est celui de Sébikhotane ;
- les pertes par fines produites par suites des chutes répétées du produit : le taux de ces pertes est faible. on le majore forfaitairement à 5% du débit d'alimentation du four ;
- les pertes par fines dues à un criblage imparfait : comme ces pertes résultent du concassage du minerai, elles seront présent en compte dans la chaîne concassage.

La production annuelle visée est de 200.000 tonnes et le temps de marche effectif est de 4 646,4 heures.

Le tableau 3-1 suivant donne les différents débits dans la ligne séchage ainsi que la quantité de produit humide à sécher par année.

Libellés	Pertes (%)	Quantités
Production annuelle (tonnes)		200 000
Nombre d'heures de marche (heures)		4646,4
Production horaire (tonnes/heure)		43,04
Pertes par fines (tonnes)	5	2,37
Production à la sortie du four (tonnes)		45,41
Pertes en eau (tonnes)	22	12,81
Débit d'alimentation du four (t/h)		58,22
Production annuelle (tonnes)		270 513,41

Tableau 3-1 : Les débits de la ligne séchage.

3-4-2 Les débits de la ligne concassage

Comme pour la ligne séchage, les débits dépendent du temps de marche de la ligne. En outre, le débit d'un appareil de fragmentation dépend du réglage de l'ouverture d'admission. Dès lors, il nous faut fixer la taille maximale des blocs à admettre, autrement dit la maille de la grille de protection pour déterminer les différents débits dans la ligne concassage.

3-4-2-1 Le temps de marche

Contrairement à la ligne séchage, le concassage ne fonctionne que pendant 9 mois. Dans ce cas, le temps de marche de cette ligne est de :

$$80\% \times 24 \text{ heures/jour} \times 22 \text{ jours/mois} \times 9 \text{ mois} = 3\,801,6 \text{ heures}$$

3-4-2-2 Détermination de la maille de la grille

Conformément aux recommandations (cf 2-3-3), on suppose que la chaîne est équipée de concasseurs à cylindres dentés.

Des courbes d'analyses granulométriques caractéristiques de concasseurs fournies par Taggart (Sirois, 1967) sont montrées dans l'annexe A-3. Les concasseurs à deux cylindres dentés ne sont pas pris en compte dans ces courbes d'analyses. Nous assimilons le profil granulométrique de ses produits concassés à celui d'un concasseur à un cylindre et mâchoire. Cette hypothèse ne fausse en rien nos calculs de débits dans la mesure où ce dernier appareil produit plus de fines que le concasseur à deux cylindres dentés.

La taille maximale de grain désirée est de 6,3 mm. Sur les courbes on peut lire qu'à une ouverture de maille égale à 70 % de la dimension maximale on a 93 % de passants . Ainsi, on peut limiter le réglage du dernier appareil de fragmentation à :

$$1 \text{ mm} \times \frac{6,3}{70\%} = 9,0 \text{ mm}$$

Si l'on se fixe pour chacun des 3 étages un rapport de réduction de 4, la maille de la grille sera de :

$$9,0 \text{ mm} \times 4^3 = 576 \text{ mm.}$$

Cette valeur est l'épaisseur maximale des blocs. Leur largeur peut atteindre 800 mm, la longueur des tambours du concasseur. Pour des raisons de sécurité et de simplicité, on peut adopter l'épaisseur maximale de 576 comme le côté d'un maillage carré de la grille.

3-4-2-3 Les débits des différents tronçons de la ligne concassage

Le broyeur primaire est alimenté par un produit dont la taille maximale des grains est de 576 mm. Le secondaire reçoit alors une taille maximale de grains égale à:

$$576 \text{ mm} / 4 = 144 \text{ mm}$$

et le tertiaire

$$144 \text{ mm} / 4 = 36 \text{ mm.}$$

Une ouverture de maille de 36 mm soit 25% de la maille de la grille donne 35% de passants. C'est le pourcentage du débit de produit sortant du concasseur primaire que reçoit le broyeur tertiaire. Il est de classe 0/36. Le broyeur secondaire reçoit donc les 65% restant.

Le broyeur secondaire reçoit la classe 36/144 qui après une réduction de 4/1 est ramenée à la classe 0/36. Une ouverture de maille de 6,3 mm correspond à 17,5% de la taille maximale des grains de cette classe. Ainsi, avec le produit broyé du secondaire, on récupère 24% de refus et 76% de passants aux cribles du troisième étage. Par rapport au débit d'alimentation, ces taux représentent respectivement de **15,6%** (= 24% de 0/6,3 soit 24 % * 65 %) et **49,4 %** (= 76% de 6,3/36 soit 76 % * 65 %).

Le broyeur tertiaire reçoit alors 35% provenant des cribles alimentés par le primaire et 49,4% de produit 6,3/36 provenant des cribles du dernier étage soit 84,4% du débit d'alimentation. La classe 6,3/36 sort de l'appareil de fragmentation du troisième étage avec une taille maximale de 9 mm. Le produit broyé est composé de 92,5% de 0/6,3 et 7,5% de 6,3/9, soit respectivement **78,07%** (= 92,5 * 84,4%) et **6,33%** (= 7,5% * 84,4%) par rapport à l'alimentation. Cette dernière fraction constitue en elle même une charge circulante du troisième étage. A chaque passage à travers le classificateur, on récupère 92,5% de passants. Le débit circulant est alors donné par la somme des éléments de la suite géométrique dont le premier terme et la raison ont la même valeur, le taux de refus soit 7,5% ou 6,33% par rapport à l'alimentation.

Cette somme vaut:

$$\sum_{n=1}^{\infty} (6,33\%)^n = \frac{6,33\%}{1 - (6,33\%)} = 6,77\%$$

Le débit total traversant le broyeur tertiaire est alors:

$$78,04\% + 6,77\% = 84,81\%$$

La taille maximale des fines est de 1 mm, soit respectivement 0,7%, 2,8% et 11,1% de la dimension maximale des blocs à la sortie des broyeurs primaire, secondaire et tertiaire.

Les taux de fines produites rapportés au débit d'alimentation de chaque appareil de fragmentation représentent dans l'ordre des stades de réduction : 1%, 3% et 14,5%. Comme les broyeurs primaire, secondaire et tertiaire reçoivent respectivement 100%, 65% et 84,81% du débit traité, le taux de fines produit dans la ligne concassage est de :

$$1\% \times 100\% + 3\% \times 65\% + 14,8\% \times 84,81\% = 15,5\%$$

Autrement dit, le taux de pertes de matières est de : 15,5 %.

Ce taux de fines est deux fois plus faible que le taux de pertes actuel qui s'élève à 32,5%. En plus, c'est une majoration du taux réel car il est déterminé à partir de la courbe d'analyses granulométriques des concasseurs à un cylindre et mâchoire et que ce type d'appareils produit plus de fines que les concasseurs à deux cylindres dentés.

Le taux de récupération de la ligne concassage est donc de :

$$100\% - 15,5\% = 84,5\%$$

A partir de la demande annuelle de la ligne séchage qui s'élève à 270 513,41 tonnes de produit humide et du temps de marche de la ligne concassage qui vaut 3801,6 heures par an, le débit moyen de produit net 1/6,3 est de :-

$$270\ 513,41\ \text{tonnes} / 3801,6\ \text{heures} = 71,17\ \text{tonnes/heures}$$

Pour satisfaire la demande de la ligne séchage qui s'élève à 71,17 t/h de produit humide 1/6,3, la capacité de production de la chaîne concassage doit être supérieure ou égale à :

$$\frac{71,17t/h}{0,845} = 84,22 t/h$$

La détermination de ce débit c'est faite en supposant que le minerai brut ne contient pas d'éléments fins. Comme nous n'avons put obtenir aucune estimation de ce taux, nous proposons une majoration de 15% de ce débit pour une marge de sécurité.

Ainsi, le tonnage horaire à l'alimentation de la grille sera de

$$84,22 \times 115\% = 96,85 \text{ tonnes}$$

Le tableau 3-2 résume les débits des différents tronçons et d'alimentation des appareils de la chaîne concassage..

Tronçons	Débits (%)	Débits (t/h)
Grille- Broyeur primaire - Cribles I	100	96,85
Cribles I- Broyeur II - Trémie	65	62,95
Cribles I- Broyeur III	35	33,90
Broyeur III - Trémie	91,17	88,3
Trémie - Cribles II	156,17	151,26
Cribles II- Broyeur III	56,17	54,4
Cribles II - Fines	15,5	15,01
Cribles II - Produit fini	84,5	81,84

Tableau 3-2: Débits des différents tronçons de la ligne concassage

Le débit de 81,84 t/h est le tonnage horaire récupéré si le produit brut ne contient pas de fines et pour une alimentation de 96,85 tonnes par heure. Si l'alimentation contient 15% de fines, le tonnage produit sera alors de 71,17 tonnes par heure.

3-5 Détermination des équipements

Il s'agit de déterminer les caractéristiques des appareils de la chaîne.

3-5-1 Le distributeur à tiroirs

Son débit maximal étant de 140 tonnes par heure, nous suggérons qu'il soit réglé à 95 t/h.

3-5-2 Le broyeur primaire

Le concasseur actuellement en service peut être utilisé. Pour son fonctionnement correct, ses pointes doivent être pointues sinon son taux de production de fines augmente. En plus, il est préférable qu'ils tournent au moins à une vitesse périphérique égale à $V = 8$ m/s (cf. 2-3-3). Ainsi, ils pourront opérer par percussion et le taux de fines sera plus faible.

A cause de son faible rendement, une étude de dimensionnement des volants ou d'un autre mécanisme d'entraînement serait nécessaire.

Pour un diamètre des rotors $\phi = 1.4$ m, la vitesse périphérique de 8 m/s correspond à une vitesse de rotation égale à :

$$N = \frac{V}{\frac{\phi}{2}} \times \frac{60}{2\pi} = 109.13 \text{ tours par minute}$$

Pour une vérification, la capacité correspondante peut être approximativement calculée grâce à la formule proposée par Louis Sirois (1967) dans le cas des charbons. Elle est donnée par :

$$Q = k \times d \times V \times L$$

Q : capacité en tonnes par heure ; d : dimension du produit en mm (largeur de maille du tamis sur lequel il y a au maximum 5% de refus) ;

V : vitesse périphérique des cylindres ;

L : largeur des cylindres ;

K : est le coefficient qui tient compte de la dureté du charbon. Pour l'attapulgite, nous adoptons la valeur de 0.8 correspondant à un charbon tendre.

L'application de la formule donne pour une longueur de 0.8 m et une épaisseur de 144 mm une capacité de 737,28 tonnes par heure. Cette capacité de production correspond à une alimentation à gueule pleine. Cependant à cause de l'hétérogénéité de la composition granulométrique du tout-venant, une telle alimentation ne peut être réalisée. L'importance de cette capacité est due à la taille des gros blocs.

3-5-3 Le broyeur secondaire

Nous admettons que le broyeur secondaire est un concasseur à pointes. Dans ce cas, la taille limite des blocs contenus dans son alimentation représente 60% du diamètre. Pour des raisons de sécurité, nous limitons la taille maximale à 50% du diamètre.

Chaque rotor aura au moins un diamètre de : $144 \text{ mm} / 0,5 = 288 \text{ mm}$.

Cet appareil doit avoir une capacité au moins égale à : $62,95 \text{ t/h}$ et de préférence, une vitesse périphérique de 8 m/s.

Ainsi, les critères de choix de cet appareil sont :

- rapport de réduction supérieur: 4/1 ;
- taille maximale des blocs à l'alimentation au moins : 144 mm
- capacité supérieure ou égale à 63 tonnes par heure ;
- diamètre des tambours supérieur ou égal à : 288 mm ;
- vitesse périphérique supérieure à 4 m/s (pour avoir au moins au bon cisaillement) ;
- nature du matériau traité : tendre.

3-5-4 Le broyeur tertiaire

Comme le précédent, son diamètre doit être supérieur à : $36 \text{ mm} / 0,5 = 72 \text{ mm}$.

Ses critères de choix sont :

- rapport de réduction supérieur: 4/1 ;
- taille maximale des blocs à l'alimentation au moins : 36 mm

- capacité supérieure ou égale à 89 tonnes par heure ;
- diamètre des tambours supérieur ou égal à : 72 mm ;
- vitesse périphérique supérieure à 4 m/s (pour avoir au moins au bon cisaillement) ;
- nature du matériau traité : tendre.

Remarque :

Les diamètres calculés pour les broyeurs secondaire et tertiaire peuvent être faibles par rapport aux diamètres des appareils construits en série. Si tel n'est pas le cas, nous suggérons que le plus petit broyeur qui respecte les caractéristiques de débit et de diamètre pour chaque étage soit choisi.

Dans le cas contraire, une des solutions suivantes peut être adoptée :

- choisir le diamètre normalisé immédiatement supérieur à celui recherché ;
- faire une commande spéciale du ou des broyeurs adéquats ;
- choisir un autre type d'appareil.

Nous discuterons de ces différentes possibilités dans le chapitre 4 : évaluation des solutions.

3-5-5 Le four sécheur

La capacité (en kilogrammes par heure) d'un four tournant à ailettes à courant parallèle peut être calculée à partir de la formule proposée par Heiligenstaedt (1971). Elle est donnée par :

$$P = 135 \times \left\{ 1 - \left(\frac{d_i}{d_{ex}} \right)^2 \right\} \times \frac{d_i}{d_{ex}} \times (\tan \nu + \delta) \times \varphi \times (d_{ex})^3 \times n \times \gamma$$

où ν : est l'angle d'inclinaison du four (en °) ;

γ : la densité apparente du matériau (en kg/m^3) ;

δ : déviation des grains par les courants de fumées ;

φ : coefficient de remplissage de la poche d'ailette ;

n : la vitesse de rotation de la virole (tour/heure);

d_i : diamètre limité par l'extrémité des ailettes ou des releveurs (en m) ;

d_{ex} : diamètre de la paroi cylindrique de la virole (en m).

A partir de la formule, on voit que la capacité du four est proportionnelle à la vitesse de rotation de la virole.

Ainsi, pour augmenter la capacité du four, il suffit de prendre la vitesse adéquate. La capacité actuelle du four est de 45 t/h pour une vitesse de rotation de 6 t/mn.

Pour une production de 58,22 tonnes par heure, la vitesse de rotation de la virole correspondante est de :

$$6 \text{ t/mn} \times \frac{58,22}{45} = 7,76 \text{ t/mn.}$$

On peut adopter une vitesse de 8 tours par minute et la capacité correspondante est de :

$$45 \text{ t/h} / 6 \text{ t/mn} \times 8 \text{ t/mn} = 60 \text{ t/h.}$$

3-5-6 Les cribles

Un minerai ayant un taux d'humidité de 20 à 30% est pratiquement non criblable avec les tôles perforées, les tissus métalliques et les grilles.

Ainsi nous recommandons le recours vers les surfaces criblantes en polymère, les cribles spéciaux (équipés de dispositifs de décolmatage ou de toiles chauffées), etc.

Pour l'utilisation des surfaces criblantes classiques, la résistance au colmatage est obtenue avec l'emploi de grillage à fentes (toiles Harpe ou Serpa) ou par l'emploi de grilles à barreaux flottants.

3-5-7 Les trémies

La trémie de stock humide ne pose aucun problème. Quand elle est pleine, le produit concassé est stocké à terre et forme le stock humide. La capacité de stock humide est jugée suffisante pour les besoins.

Par contre une augmentation de la capacité de la trémie de stock sec est nécessaire. La seule alternative est sa vidange à une fréquence suffisante pour éviter l'arrêt de la ligne concassage et le stockage à terre surtout en hivernage.

3-5-8 L'utilisation d'autres type de broyeurs comme variantes

Les caractéristiques de l'attapulгите sont telles que beaucoup d'appareils ne sont pas adaptés à son traitement. Parmi ceux-ci, on peut citer :

- les appareils non recommandés pour les roches abrasives : concasseurs à marteaux, à un cylindre et mâchoire, à percuteurs rigides, broyeurs à cylindres cannelés, etc.
- les appareils non adaptés aux produits collants : concasseurs giratoires, concasseurs à mâchoires, concasseurs à chute libre, broyeurs à cylindres cannelés, etc.
- les appareils destinés au traitement des roches dures : concasseurs à mâchoires, concasseurs giratoires, etc.
- les appareils produisant beaucoup de fines : les concasseurs à chute libre, les concasseurs à marteaux, etc.
- etc.

En dehors des appareils ci-haut cités et des concasseurs à cylindres dentés, il ne reste pratiquement que les broyeurs à cylindres lisses comme appareils souvent utilisés dans le concassage grossier. C'est pourquoi nous le proposons comme première variante au troisième étage car ils ne peuvent recevoir de gros blocs.

Nous envisageons également l'emploi des concasseurs à un cylindre et mâchoire. Ces derniers ne sont pas adaptés au traitement des roches abrasives mais les coûts de la recharge de la mâchoire peuvent éventuellement être faibles et en plus ils ont de bons rendements dans le cas

des minerais tendres.

3-5-8-1 Le broyeur à cylindres lisses

Les broyeurs à cylindres lisses conviennent au concassage des morceaux de petites tailles, c'est à dire au dernier étage des circuits de concassage fin ou au broyage fin. Si l'alimentation de l'appareil est uniforme sur toute la largeur des cylindres et le débit assez faible pour que les grains ne risquent pas de se superposer et de se broyer entre eux, ce type d'appareils donne une composition granulométrique resserrée. Dans ce cas, le rapport de réduction ne peut être élevé.

Les broyeurs à cylindres lisses admettent des blocs de taille inférieure à 1/22 du diamètre de leurs rotors (Blanc, 1978). Ainsi, l'appareil qui peut occuper le troisième étage doit avoir un diamètre d'au moins :

$$36 \text{ mm} \times 22 = 792 \text{ mm.}$$

Pour une alimentation à faible couche (30% du débit nominal), le débit de l'appareil doit avoisiner :

$$88,3 \text{ t/h} / 30\% = 294,33 \text{ t/h.}$$

Les critères de choix du broyeur à cylindres lisses sont :

- rapport de réduction : 4/1 ;
- taille maximale des blocs à l'alimentation au moins : 36 mm
- capacité supérieure ou égale à 295 tonnes par heure ;
- diamètre des tambours supérieur ou égal à : 792 mm ;
- nature du matériau traité : tendre.

3-5-8-2 -- Les concasseurs à un cylindre et mâchoire

Ils ont le même mode de fonctionnement et même usage que les concasseurs à deux cylindres dentés ; mais leur utilisation est limitée au traitement des minéraux non abrasifs. Ils peuvent admettre des blocs dont la taille peut atteindre le diamètre du tambour (Blanc, 1978). Nous suggérons une taille limite de 80% du diamètre.

Pour leur utilisation dans la chaîne proposée, il faudrait au second étage, un tambour ayant un diamètre d'au moins

$$144 \text{ mm} / 0,8 = 180 \text{ mm}$$

Les critères de choix de l'appareil à mettre au second étage sont :

- rapport de réduction supérieur: 4/1 ;
- taille maximale des blocs à l'alimentation au moins : 144 mm
- capacité supérieure ou égale à 63 tonnes par heure ;
- diamètre des tambours supérieur ou égal à : 180 mm ;
- vitesse périphérique supérieure à 4 m/s (pour avoir au moins au bon cisaillement) ;
- nature du matériau traité : tendre.

Au troisième étage, l'appareil aura au moins un diamètre de :

$$36 \text{ mm} / 0,8 = 45 \text{ mm.}$$

Ses critères de choix sont :

- rapport de réduction supérieur: 4/1 ;
- taille maximale des blocs à l'alimentation au moins : 36 mm
- capacité supérieure ou égale à 89 tonnes par heure ;
- diamètre des tambours supérieur ou égal à : 72 mm ;
- vitesse périphérique supérieure à 4 m/s (pour avoir au moins au bon cisaillement) ;
- nature du matériau traité : tendre.

Chapitre 4

AUTOMATISATION ET SUPERVISION DU FOUR SÈCHEUR

L'objectif de ce chapitre est de fournir une étude d'automatisation totale du four sécheur, le choix d'un automate ainsi qu'un logiciel de supervision. Nous édbutons notre étude par une analyse critique du fonctionnement actuel du four.

4-1 Critiques de l'existant

L'automatisation actuelle du four ne permet pas un séchage du produit à l'humidité voulue. En effet, le système automatisé n'est équipé d'aucun capteur d'humidité.

Le conducteur de four fixe les paramètres de marche sur la base d'analyses effectuées au laboratoire. Ces paramètres sont : les températures de la buse et des fumées et la valeur de la dépression dans le tube sécheur. Ainsi, les réajustements se font à des intervalles de temps de longues durées. La qualité du produit sécher est alors compromise.

La possibilité de choisir indépendamment tous ces paramètres donne lieu à divers degrés de séchage. Ainsi la constance du taux d'humidité de sortie devient aléatoire.

Une automatisation correcte du four ne peut être obtenue sans une boucle de régulation sur l'humidité du produit à la sortie. Pour optimiser sa consommation, cette régulation peut se faire sur le débit de fuel.

La température de la buse doit être fixée à une valeur maximale admissible ; elle doit résulter d'un compromis entre la limite de fusion des briques réfractaires et la valeur maximale, si elle existe, à ne pas dépasser pour maintenir les propriétés du produit à sécher. Si elle est fixée à une faible valeur, l'excès d'air fourni par le ventilateur de dilution est élevé de même que l'énergie absorbée par son moteur d'entraînement. Les pertes thermiques par les fumées sont également exorbitantes.

Si la température de rejet des fumées peut être choisie par le conducteur de four, elle ne doit pas descendre en deçà du point de rosée. Si tel est le cas, le produit reprend de l'humidité avant sa sortie du tube sécheur. En outre, on peut la maintenir à sa valeur minimale si l'on cherche à réduire les pertes thermiques par les fumées.

La valeur de la dépression dans la buse est directement liée à la vitesse de circulation des gaz chauds et donc au temps nécessaire au séchage des grains. Avec une vitesse de circulation élevée, on rejette les fumées à une faible température ; on perd le mois de chaleur. L'inconvénient qui en découle est le dégagement de poussière à travers la cheminée. Pour éviter ce dernier, on peut fixer la consigne de dépression à la limite à laquelle il ne se produit pas de dégagement de poussière.

La régulation de débit de fluide grâce à la fermeture ou l'ouverture de ventelles est technologiquement dépassée. Cette technique engendre énormément de pertes énergétiques. En effet, pour un débit de fonctionnement inférieur à la valeur nominale, les pertes de charge causées par l'étranglement sont très élevées et il en découle une augmentation considérable de la consommation d'énergie par le moteur d'entraînement. Ces pertes atteignent leur valeur maximale pour un débit nul. Par exemple, si la température des briques réfractaires est inférieure à la valeur donnée en consigne, le moteur du ventilateur de dilution absorbe sa puissance nominale sans fournir de travail utile. En outre, elle est difficile à mettre en œuvre et les solutions adoptées sont très souvent encombrantes et difficiles à entretenir.

La technologie actuellement en vigueur est celle des variateurs de fréquences. Ces équipements sont utilisés dans les installations à chaque fois qu'une régulation peut se faire par la variation de vitesses de moteurs. Grâce à cette technologie, on réalise des économies d'énergie considérables.

4-2 Modifications proposées

A partir des critiques précédentes, de nos résultats de visites industrielles, d'une analyse fonctionnelle et des recommandations de personnes ressources, nous suggérons les

modifications suivantes :

1. la commande des moteurs des ventilateurs de combustion et de dilution par des variateurs de fréquences ;
2. la régulation de l'humidité de sortie en fonction du débit de fuel. A l'allumage du four, la commande est faite par un signal proportionnel à la quantité d'eau à enlever. Une fois les premiers grains détectés à la sortie de la virole, on corrige ce signal avec l'écart entre l'humidité mesurée et la consigne.
3. la conservation de la boucle de régulation de la dépression en fonction de la rotation de l'exhaure. La consigne de dépression est fixée tout juste pour éviter le rejet de la poussière par la cheminée ;
4. la conservation de la boucle de régulation du débit d'air de combustion en fonction du débit de fuel. cette régulation est de type proportionnel ;
5. la conservation de la boucle de régulation du débit d'air de dilution en fonction de la température de la buse. La consigne de température est fixée de préférence à 1 200°C ;
6. le four fonctionne toujours suivant les modes de marche manuelle ou automatique. Dans le premier cas, le conducteur appuie seulement sur le bouton de démarrage du cycle et donne les consignes de débit et d'humidité si elles sont différentes des valeurs par défaut; ces dernières sont sauvegardées par l'automate. Dans le second cas, l'opérateur peut mettre en marche les différents appareils par simple appui sur des boutons poussoirs. Le passage d'un mode à l'autre se fait par basculement d'un bouton tournant à clé.
7. la sécurité de la marche du four est surveillée de très près. Les informations sur l'état des sectionneurs, des relais thermiques, sur la rotation des moteurs, sur la présence du produit à l'entrée et à la sortie du tube sécheur, sur le niveau de température de la buse, du fuel, sur le niveau de pression d'air comprimé, sur la présence de la flamme, sur le débit de fuel, de produit à sécher,... seront en permanence envoyées à l'automate.

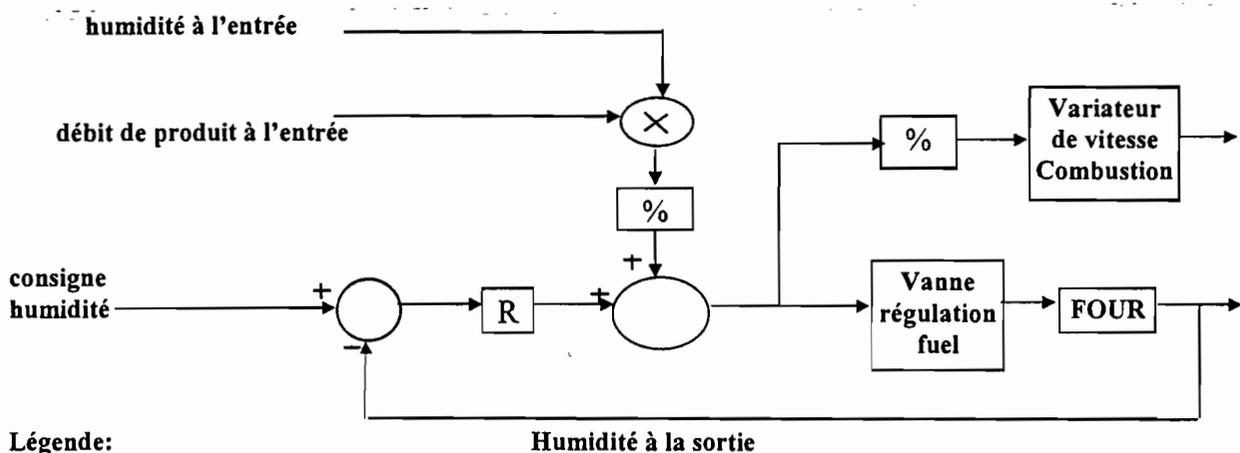
8. en cas de dysfonctionnement, l'arrêt d'urgence est déclenché et le voyant correspondant est allumé. Il est maintenu jusqu'à l'acquiescement par le conducteur de four.

4-3 Étude de l'automatisation

Cette étude se comporte la détermination des boucles de régulation, l'élaboration du GEMMA et du grafcet, et le choix de l'automate.

4-3-1 Les boucles de régulation

Les boucles de régulation proposées sont indiquées sur les schémas suivants :



Légende:
 % : régulateur proportionnel
 R : régulateur PID
 X : bloc multiplication

Figure 4-1: Boucle de régulation de l'humidité à la sortie et du variateur de combustion

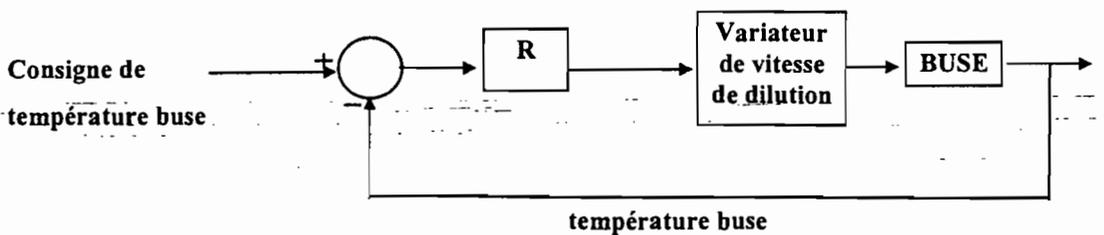


Figure 4-2 : Boucle de régulation de la température de la buse

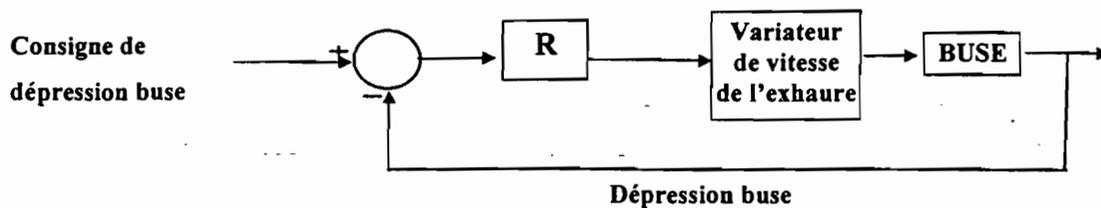


Figure 4-3 : Boucle de régulation de la dépression de la buse

4-3-2 Etude du GEMMA

L'application de la démarche proposée par le GEMMA (Guide d'Etude de Modes de Marches et d'Arrêts) montre la pertinence des cinq procédures suivantes :

- **arrêt dans état initial** : cette procédure correspond à l'état d'attente de l'automate. Le voyant " ARRET " est allumé ;
- **marche de préparation** : cette procédure est déclenchée par l'appui sur le bouton poussoir " MARCHE " quand le bouton tournant à clé est en position " AUTO ". Elle est nécessaire pour assurer le préalable à la marche de production normale. Il s'agit de la combustion du fuel, de la marche des transporteurs d'alimentation et d'évacuation, de la rotation de la virole, de l'alimentation en produit par le doseur ;
- **marche de production normale** : ou marche automatique : c'est un état d'attente car toutes les actions nécessaires sont menées depuis la marche de préparation en dehors de la régulation de l'humidité en fonction du débit de combustible. Cet état d'attente est actif lorsque les premiers grains sont détectés à la sortie de la virole ;
- **arrêt demandé dans un état déterminé** : cette procédure conduit à un arrêt simple (arrêt momentané de la production) ou à un arrêt en fin de cycle (arrêt après vidange de chaque composante) ;
- **marche de vérification dans le désordre** : cette procédure correspond à la marche manuelle. La marche d'un appareil est obtenue après l'appui sur son bouton poussoir " MARCHE " ;
- **arrêt d'urgence** : cette procédure entre en jeu en cas de dysfonctionnement ou

d'appui sur un bouton poussoir d'arrêt d'urgence.

Le schéma du GEMMA proposé est montré à la figure 4-4 ci- après.

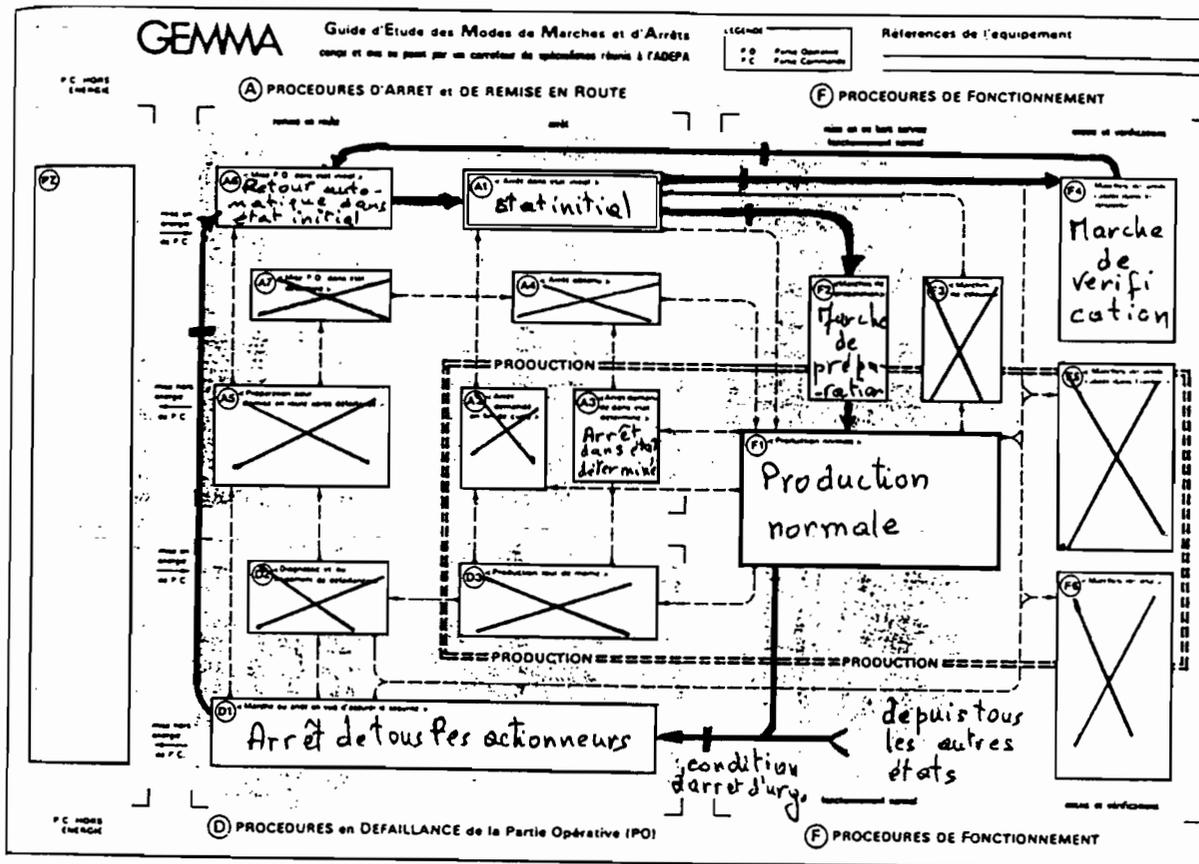


Figure 4-4 : Schéma du GEMMA proposé pour l'automatisation du four sécheur

4-3-3 Fonctionnement à programmer

Le fonctionnement à programmer correspond au cahier des charges de l'automatisation. Il décrit les différentes procédures proposées dans le GEMMA.

Arrêt dans l'état initial

A partir de cette étape il est possible de fonctionner en marche manuelle ou en marche automatique suivant la position du bouton tournant à clé. Le voyant arrêt est allumé et celui de propane si la pression dans la bouteille est faible.

Marche de préparation

La marche de préparation du four démarre à l'appui sur le bouton poussoir " AUTO " si le bouton tournant à clé est en position " AUTO ". Le voyant " MARCHE " est allumé. La marche de la chaîne commence à la fermeture du contacteur de puissance du moteur d'entraînement du transporteur d'évacuation.

On ferme les contacteurs du réchauffeur et du compresseur afin de commencer la régulation du préchauffage du fuel et de l'air de pulvérisation. La température du mazout doit être maintenue entre 120 et 130° C et la pression du réservoir d'air comprimé entre 4,5 et 6 bar.

Pour l'allumage du four, on ferme les contacteurs de puissance des variateurs de commande des moteurs d'entraînement des ventilateurs d'exhaure, de combustion et de dilution. Le débit d'air de combustion est proportionnel à celui du combustible. Le variateur d'entraînement du moteur du ventilateur de combustion est régulé en vitesse. Par contre le débit d'air de dilution est régulé pour maintenir la température de la buse à la valeur de la consigne ; nous suggérons qu'elle soit de 1 200 °C. Le variateur de vitesse de l'exhaure est asservi pour maintenir une dépression constante dans le tube sécheur égale à la consigne du conducteur de four.

La combustion débute à l'ouverture de l'électrovanne de la conduite de propane et à la fermeture du contacteur de puissance du transformateur d'allumage. A la détection de la flamme on coupe l'alimentation du transformateur et on ouvre les électrovannes de mazout et d'air comprimé. Deux (2) secondes plus tard on désactive l'électrovanne de la conduite de propane.

Après l'allumage, on démarre la régulation de la température de la buse par le ventilateur de dilution, celle de l'air comprimé et de l'air de combustion en fonction du débit de mazout.

Les contacteurs de puissance du moteur de la virole et de la pompe de graissage sont fermés juste après le démarrage des boucles de régulation.

Cinq (05) secondes après la marche de la virole, on ferme le contacteur de puissance du moteur du transporteur de sortie et 5 secondes plus tard, on ferme celui du doseur. C'est le début de l'alimentation en produit.

Procédure : production normale

Une fois les premiers grains détectés à la sortie de la virole, on démarre la régulation de l'humidité par le débit de mazout.

Procédure : arrêt demandé dans un état déterminé

En marche de production, on a deux options pour arrêter le four en plus de l'arrêt d'urgence qui peut survenir à tout moment.

Le premier est l'arrêt simple. A l'appui sur le bouton poussoir " ARRET DEMANDE ", les actions à mener sont les suivantes :

- activer le voyant " ARRET DEMANDE "
- arrêter le moteur du doseur ;
- arrêter le transporteur d'alimentation 3 secondes plus tard ;
- arrêter la virole et la pompe de graissage 20 secondes après le transporteur d'alimentation ;
- fermer l'électrovanne de mazout ;
- fermer l'électrovanne d'air comprimé 3 secondes après celle de mazout ;
- désactiver les contacteurs de la pompe fuel, du compresseur et du réchauffeur ;
- désactiver les contacteurs de puissance des 3 variateurs des ventilateurs ;
- arrêter le transporteur d'évacuation 5 secondes après la virole.

Le second arrêt est celui correspondant à la fin du cycle. Un appui sur le bouton poussoir " FIN DE CYCLE " engendre la succession d'actions suivantes :

- allumage du voyant " FIN DE CYCLE " ;

-
- ouverture du contacteur du doseur ;
 - ouverture du contacteur du transporteur d'alimentation dès qu'il est vide ;
 - arrêt de la rotation de la virole quand elle est vide et la pompe de graissage ;
 - fermeture de l'électrovanne d'air comprimé 3 secondes après celle de mazout ;
 - ouverture des contacteurs des variateurs de vitesse des moteurs d'entraînement des ventilateurs ;
 - ouverture du contacteur du moteur de la pompe de mazout ;
 - ouverture du contacteur du réchauffeur ;
 - ouverture du contacteur du compresseur ;
 - arrêt du transporteur d'évacuation s'il est vide.

Procédure : arrêt d'urgence

L'appui sur un contact d'arrêt d'urgence entraîne la désactivation de toutes les sorties, l'allumage du voyant " ARRET D'URGENCE " et le nettoyage du brûleur et de son conduit d'alimentation par une ouverture pendant 3 secondes de l'électrovanne d'air comprimé. L'arrêt d'urgence survient également si un des cas de dysfonctionnement ci-dessous se produit avec allumage du voyant correspondant. Ces cas sont :

- un déclenchement d'un relais thermique d'un des moteurs du système ;
- une rupture de fusible ;
- une température de la buse supérieure à 1 250° C ;
- une température de fuel dans le réchauffeur inférieure à 110° C ;
- une extinction anormale de la flamme ;
- une pression de fuel dans le brûleur faible ;
- un niveau insuffisant de la graisse de lubrification de la couronne de la virole ;
- une humidité de sortie dépassant de 0,5 % la consigne ;
- une pression d'air comprimé dans le réservoir inférieure à 4 bar ;
- un dépassement du débit maximal du brûleur ;
- une rupture de l'alimentation en produit ;
- un défaut de rotation d'un des moteurs.

Procédure : marche de vérification dans le désordre

Quand le bouton tournant à clé est en position « MANUEL », il est possible de réaliser les opérations suivantes sur simple appui d'un bouton poussoir. Ces opérations sont :

- marche du transporteur de sortie ;
- marche du transporteur d'alimentation ;
- rotation de la virole et de la pompe de graissage ;
- marche du ventilateur de combustion, de dilution ou de l'exhaure ;
- marche de la pompe de fuel ;
- fermeture du contacteur du réchauffeur ;
- allumage du four.

4-3-4 Listing des entrées et sorties de l'automate

Les entrées et sorties nécessaires à l'automatisation sont consignées dans les tableaux 4-1 et 4-2. Elles se composent de 22 entrées et 33 sorties de type Tout ou Rien et de 11 entrées et 6 sorties de type analogique.

N°	Désignation	Type Tout ou Rien	Type Analogiqu
1	Détecteur de flamme	1	
2	Pression air comprimé		1
3	Débit de fuel		1
4	Température buse		1
5	Etat relais thermiques	1	
6	Consigne de température buse		1
7	Etat des fusibles	1	
8	Détecteurs de rotation	1	
9	Bouton poussoir marche	1	
10	Bouton poussoir arrêt demandé	1	
11	Bouton poussoir fin cycle	1	
12	Bouton poussoir stop urgence	1	
13	Détecteur produit entrant	1	
14	Détecteur produit sortant	1	
15	Humidité à l'entrée		1
16	Humidité à la sortie		1
17	Consigne d'humidité		1
18	Consigne de débit		1
19	Température de sortie des fumées		1
20	Pression propane		1
21	Niveau graisse	1	
22	Température fuel		1
23	Bouton poussoir acquittement stop urgence	1	
24	Bouton tournant à clé man / auto	1	
25	Bouton poussoir allumage four	1	
26	Bouton poussoir rotation virole	1	
27	Bouton poussoir transporteur alimentation	1	
28	Bouton poussoir transporteur d'évacuation	1	
29	Bouton poussoir ventilateur de combustion	1	
30	Bouton poussoir ventilateur de dilution	1	
31	Bouton poussoir ventilateur d'exhaure	1	
32	Bouton poussoir réchauffeur fuel	1	
33	Bouton poussoir pompe fuel	1	
	TOTAUX	22	11

Tableau 4-1 : Liste des entrées de l'automate

N°	Désignation	Type Tout ou Rien	Type Analogique
1	Contacteur exhaure	1	
2	Contacteur pompe de graissage	1	
3	Contacteur virole	1	
4	Contacteur ventilateur de combustion	1	
5	Contacteur ventilateur de dilution	1	
6	Electrovanne propane	1	
7	Electrovanne air comprimé	1	
8	Electrovanne mazout	1	
9	Contacteur transformateur d'allumage	1	
10	Contacteur compresseur	1	
11	Contacteur réchauffeur	1	
12	Contacteur pompe de fuel	1	
13	Régulateur débit mazout		1
14	Régulateur débit air comprimé		1
15	Contacteur doseur	1	
16	Régulateur doseur		1
17	Contacteur transporteur alimentation	1	
18	Contacteur transporteur d'évacuation	1	
19	Commande variateur de combustion		1
20	Commande variateur de dilution		1
21	Commande variateur d'exhaure		1
22	Contacteur pompe mazout	1	
23	Voyant défaut thermique	1	
24	Voyant court circuit fusible	1	
25	Voyant flamme manquante	1	
26	Voyant niveau graisse	1	
27	Voyant température buse élevée	1	
28	Voyant température fuel faible	1	
29	Voyant pression air comprimé faible	1	
30	Voyant température des fumées faible	1	
31	Voyant pression acétylène faible	1	
32	Voyant ARRET	1	
33	Voyant ARRET D'URGENCE	1	
34	Voyant FIN CYCLE	1	
35	Voyant MARCHE	1	
36	Voyant débit maximal fuel	1	
37	Voyant humidité de sortie élevée	1	
38	Voyant défaut rotation moteur	1	
39	Voyant produit alimentation manquant	1	
	TOTAUX	33	6

Tableau 4-2 : Liste des sorties de l'automate

4-3-5 Le programme proposé

Le programme proposé est un grafcet de deuxième niveau. Il est montré dans l'annexe A-5. Il est composé de trois grafcets.

Le premier gère la marche de préparation, la production normale et la marche de vérification dans le désordre.

Le deuxième entre en action à l'appui sur les boutons poussoirs « ARRET DEMANDE » ou « FIN DE CYCLE ».

En fin, le dernier est le grafcet d'arrêt d'urgence. La condition d'arrêt d'urgence est l'appui sur un bouton d'arrêt d'urgence ou la détection d'un des cas de dysfonctionnement cités dans le paragraphe titré « fonctionnement à automatiser ».

4-3-6 Choix des composantes de l'automate

L'automate est défini par sa marque ou le nom de son fabricant et par ses composantes : le processeur, la carte d'alimentation, les modules d'entrées et de sorties, etc.

4-3-6-1 Choix du fabricant

Diverses marques d'automates sont disponibles sur le marché : Télémécanique, Merlin Gerin, ABB, Allen-Bradley, Siemens, etc. Par des enquêtes que nous avons menées dans les entreprises telles que les ICS-Taïba, la SOCOCIM et la SSPT nous avons appris que la meilleure marque semble être Allen-Bradley.

Mécaniquement, selon le responsable de la régulation des ICS-Taïba, les automates d'Allen-Bradley sont les plus solides. Il a même entamé un projet de remplacement de tous leurs automates par des PLC-5, la nouvelle gamme de Allen-Bradley.

Fort de ces résultats, nous suggérons l'emploi d'un automate Allen-Bradley.

Le logiciel de programmation PLC-5 offre un choix de trois langages sur la base fichier-par-

fichier : schéma à contacts, grafset et littéral. Les instructions intégrées dans les processeurs PLC-5 facilitent la programmation : calcul à virgule flottante, régulation trigonométrie, régulation PID, gestion des chaînes de caractères ASCII et fonctions de contrôles statistiques.

4-3-6-2 Choix du processeur

L'espace mémoire nécessaire au programme est nettement inférieur à la capacité limite du plus petit processeur de la famille Allen-Bradley, le PLC-5/11.

Le PLC-5/11 peut gérer 512 entrées/sorties toutes combinaisons et 4 racks d'entrées/sorties et dispose d'un port pour une liaison série et d'un port pour la communication avec un superviseur.

Le PLC-5/11 convient parfaitement pour notre application ; nous suggérons alors son utilisation pour l'automatisation du four sécheur.

4-3-6-3 Choix de la carte d'alimentation

Nous suggérons une alimentation en courant alternatif de 110/120 V. Pour cela, la carte 1771-P7 est convenable.

4-3-6-4 Choix des modules d'entrées/sorties

Les nombres d'entrées et de sorties tout ou rien sont évalués respectivement à 22 et 32. Les cartes d'entrées ou de sorties disponibles ont 8, 16, 32 ou 64 voies. Ainsi, deux cartes de 32 suffisent, une pour les entrées et une pour les sorties.

Pour les entrées et sorties analogiques les cartes disponibles ont 8 entrées ou 4 sorties. Puisque nous avons 11 entrées et 6 sorties nous recommandons l'acquisition de deux cartes d'entrées de 4 et 8 voies et d'une carte de sorties 8 voies.

Comme nous ne disposons pas des références des cartes d'entrées de 4 voies et des cartes de

sorties de 8 voies, nous nous contentons, dans notre étude des cartes de 8 voies pour les entrées et de 4 voies pour les sorties.

Le tableau ci dessous résume les différents modules choisis.

Modules	Entrées Tout ou Rien	Sorties Tout ou Rien	Entrées Analogiques	Sorties Analogiques
Cartes	1771-IBN	1771-OBN	1771-IFE	1771-OFE2
Nombre de voies	32	32	8	4
Nombre de cartes	1	1	2	2

Tableau 4-3 : Modules d'entrées et de sorties choisis pour l'automatisation du four

3-5-6-5 Choix du châssis

Le nombre de cartes à acquérir étant de 6 et les tailles de châssis disponibles étant de 4, 8, 12 et 16 emplacements de modules, nous suggérons un châssis de 8 emplacements.

4-4 Etude de la supervision

L'objectif de cette étude est de proposer un logiciel de supervision et les accessoires nécessaires à la mise en œuvre de la supervision.

4-4-1 Choix du logiciel

Allen-Bradley a mis au point un logiciel de supervision, le RSView 32 qui tourne sous Windows 95. Son prédécesseur, le Control View est utilisé sous MS DOS. Puisque le MS DOS tend à disparaître, nous suggérons l'acquisition du RSView 32.

Nous suggérons l'acquisition du RSView 32 1500 points. Cette version est recommandée pour les moyenne installations. Elle devrait permettre même la supervision de toute la chaîne

de traitement. Sa référence est : 9301 - 2SE - 2301.

Les conditions requises par le logiciel sont les suivantes :

- un PC compatible IBM Pentium 100 Mhz ou supérieur (133 Mhz et plus recommandé) ;
- 24 Mo de RAM (32 Mo recommandé) ;
- 100 Mo de disque dur (ou plus, selon applications) ;
- lecteur ou accès à lecteur CD-ROM ;
- Microsoft Windows NT (version 3.51 minimum) ou Windows 95.

La feuille de présentation du RSView est fournie à l'annexe A-6.

4-4-2 La carte de communication et le câble

La référence de la carte est 1784 - KTX et celle du câble : 1770 - CD.

Chapitre 5**EVALUATION DES SOLUTIONS**

L'objectif de ce chapitre est de mettre en exergue les forces et les faiblesses des solutions proposées pour la chaîne de traitement et d'évaluer le coût de l'automatisation et de la supervision du four sécheur.

5-1 Evaluation des solutions proposées pour la chaîne

Comme solutions, nous avons proposé :

1. une légère modification de la ligne séchage ;
2. une nouvelle configuration de la ligne concassage ;
3. l'emploi de concasseurs à cylindres dentés ;

Les études de praticabilités ont montré la faisabilité des deux premières propositions. Ainsi, nous n'avons pas proposé d'alternative.

Quant à la troisième, elle peut être difficile à mettre en œuvre. En effet, les concasseurs à cylindres dentés font partis des appareils de fragmentation les plus rares sur le marché. C'est la raison pour laquelle nous suggérons comme variante l'emploi d'un broyeur à cylindres lisses au troisième étage ou de concasseurs à un cylindre et mâchoire au deuxième ou au troisième étage.

Malheureusement, ces appareils proposés comme solutions de rechange ne sont pas adaptés au traitement de l'attapulgite.

Dans ce sous chapitre, nous nous proposons d'évaluer qualitativement les coûts de fonctionnement de nos différentes suggestions

5-1-1 L'emploi des concasseurs à cylindres dentés

Les avantages de cette solution sont principalement : les faibles coûts de fonctionnement des appareils, les faibles besoins en entretien et la réduction de la production de fines.

5-1-1-1 La réduction des coûts de fonctionnement

L'adoption de la solution proposée pour la ligne concassage avec des concasseurs à deux cylindres dentés devrait permettre une réduction de plus de la moitié du taux de fines produit actuellement. En plus, la consommation d'énergie électrique rapportée à la tonne de produits traitée devrait considérablement chuter car :

- les appareils proposés ont de faibles diamètres. Ils ont une très faible inertie et donc absorbent une faible puissance à vide. Il en découle alors un très bon rendement.
- le taux de fines produites est faible. Rittinger a montré dans sa théorie appliquée aux éléments fins que le broyeur ou la combinaison de broyeurs qui produit le moins d'éléments par rapport à un autre broyeur ou combinaison de broyeurs consomme moins d'énergie électrique, toute chose étant égale par ailleurs.

Les coûts d'entretien comme les coûts de fonctionnement des appareils proposés devraient être faibles. En effet, les broyeurs à cylindres sont rustiques et simples (Sirois, 1967) et nécessitent très peu d'entretien.

L'augmentation du taux de récupération au niveau de la ligne concassage engendre une réduction des coûts de production. En effet, les coûts de transport du minerai brut de la mine à l'usine et de l'évacuation des poussières vont chuter.

5-1-1-2 Les gains de productivité

Les difficultés jadis rencontrées sur la chaîne de traitement et particulièrement sur la ligne concassage et à la mine en saison des pluies sont résolues grâce à la solution proposée. Comme le concassage ne tourne pas pendant la dite saison, une augmentation sensible de la

productivité est prévisible. En plus, avec les deux mois d'arrêt du concassage, il est enfin possible de définir une politique de maintenance préventive. Cette disposition contribue également à une amélioration considérable de la productivité.

Un gain non négligeable résulte de la politique de congés collectifs. En effet, ces derniers sont réservés au mois où l'on rencontre le plus de difficultés dans la production, le mois d'août. En plus des gains de productivité qui en découlent, les besoins en contractuels pour le remplacement des travailleurs en congés sont nettement réduits.

Une nette amélioration des conditions de travail qu'apporte la solution proposée se situe également au niveau des facteurs psychologiques et sociologiques. Le personnel ne travaille plus les week-ends et jours fériés. Ceci permet aux travailleurs de vaquer par moments à leurs préoccupations, de se remettre en forme et de limiter l'absentéisme.

La rusticité et la simplicité des concasseurs à cylindres dentés favorisent une amélioration du temps de marche effectif et donc une augmentation de la productivité.

5-1-1-3 La baisse du niveau de pollution

Le niveau de pollution de l'environnement sera réduit suite à la baisse du taux de fines produit. De même, la fréquence des pannes par attaque par la poussière des paliers sera réduite.

5-1-2 L'emploi du broyeur à cylindres lisses au troisième étage

L'utilisation du broyeur à cylindres lisses engendre une consommation d'énergie électrique nettement supérieure à celle du concasseur à cylindres dentés à cause de la tenacité du produit. En plus, il faut l'alimenter à un débit d'environ 30% de sa capacité maximale pour réduire la production de fines. Autrement dit, il faut un appareil nettement surdimensionné.

A cause du diamètre élevé de ses tambours (792 mm), la puissance consommée à vide sera élevée et donc le rendement électrique faible.

Les coûts de maintenance de cet appareil sont voisins de ceux du concasseur à pointes.

5-1-3 L'emploi du concasseur à cylindre denté et mâchoire au second ou au troisième étage

Le concasseur à un cylindre denté et mâchoire n'est pas adapté au traitement des roches abrasives. Ces dernières provoquent une usure rapide de la mâchoire. Son utilisation peut se justifier si son coût d'acquisition et le coût de la recharge de l'enclume sont faibles.

Néanmoins, comme le montre notre étude, le taux de fine produit par cet appareil est faible. En plus, son rendement peut être élevé.

5-1-4 Conclusion sur les variantes

En définitive, on peut dire que seul les concasseurs à deux cylindres dentés sont adaptés au traitement de l'attapulgite. Ainsi, si des appareils ayant les caractéristiques proches de celles obtenues par calculs, nous suggérons que leur acquisition sur commande soit envisagée.

Le meilleur choix entre l'achat d'appareils disponibles sur le marché et la commande spéciale est ne peut être dicté que par une étude technico-financière que nous recommandons vivement si toutefois elle s'impose.

Une telle étude est également nécessaire pour décider sur le choix des variantes.

5-2 Evaluation financière de l'automatisation et de la supervision du four

Afin de réduire les coûts d'installation, nous suggérons que l'automatisation et la supervision soient réalisées en même temps. Ainsi, on n'aura nullement besoin d'installer un pupitre de commande.

Le tableau 5-1 ci-dessous donne les détails des différentes dépenses. Les prix sont en francs français de 1997. Ils sont tirés des tarifs Allen-Bradley 1997 à l'exception du capteur d'humidité dont le prix nous est communiqué à la SSPT.

Composantes	Références	Nbres	Prix unitaires	Totaux
Processeur	1785-L11B	1	12 800	12 800
Carte d'alimentation	1771-P7	1	5 425	5 425
Module Entrées Analogiques	1771-IFE	2	6 635	13 270
Module Entrées TOR	1771-IBN	1	2 400	2 400
Module Sorties Analogiques	1771-OFE2	2	5 865	11 730
Module Sortie TOR	1771-OBN	1	3 100	3 100
Câble d'alimentation	1771-CP1	1	420	420
Châssis	1771-A2B	1	2 630	2 630
Variateur de 13,5 kW	1336S B 015 AE FR 4	1	14 600	14 600
Variateur de 25 kW	1336S B 030 AE FR4	1	25 500	25 500
Capteur d'humidité	Quadra Beam 6500	2	250 000	500 000
Logiciel RSView 32, 1500 points	9301 2SE 2301	1	42 500	42 500
Câble de liaison (100 mètres)	1770-CD	1	1 870	1 870
Carte de communication	1784-KTX	1	8 870	8 870
TOTAL				646 985
TOTAL majoré de 20%				776 382

Tableau 5-1 : Les coûts de l'automatisation et de la supervision du four sécheur

Dans la colonne des prix unitaires, on note que les capteurs d'humidité coûtent trop chers. Leur coût gonfle nettement les dépenses. Les coûts de l'automate et de la supervision sont tout à fait abordables.

Les variateurs de vitesses sont destinés à la commande des moteurs de ventilateurs de combustion et de dilution. Ces derniers coûtent relativement chers.

Nous suggérons que le budget de l'automatisation et de la supervision du four soit arrêté à la somme de sept cent quatre vingt mille francs (780 000 FF).

RECOMMANDATIONS

L'étude du doublement de la capacité de production d'attapulgite ne peut se limiter aux travaux consignés dans le présent rapport. Nous suggérons que des études complémentaires soient menées autour des axes suivants:

1. vérifier si les équipements du four peuvent supporter la production visée. Il s'agit du brûleur, des ventilateurs de combustion, de dilution et d'exhaure ;
2. étudier l'aspect électrique du doublement de la production : le choix des moteurs d'entraînement des appareils et du transformateur MT/BT ;
3. étudier le choix des cribles et des surfaces criblantes ;
4. déterminer les caractéristiques des transporteurs ;
5. étudier le stockage et l'évacuation de la trémie de stock sec ;
6. étudier la rentabilité financière du projet.

Pour la bonne marche de la chaîne et l'amélioration de la productivité, nous suggérons :

1. une étude de travail de toute la chaîne de production afin de réduire les temps improductifs ;
2. l'installation sur la chaîne d'appareils de mesure pour la vérification et le contrôle de la bonne marche des équipements ;
3. l'automatisation et la supervision des lignes séchage et concassage ;
4. l'installation d'un détecteur de métaux sur la ligne concassage pour la protection des appareils ;
5. un contrôle de l'usure des dents des broyeurs afin de réduire le taux de fines produites.

CONCLUSION

La faisabilité du doublement de la capacité de production d'attapulгите est mise en exergue par la présente étude. Les contraintes de production, bien qu'elles soient sévères sont respectées et les objectifs visés peuvent être atteints grâce aux solutions proposées.

Dans notre étude, nous avons d'abord donné une description assez détaillée de la chaîne et des équipements. Cette description est suivie d'un examen critique dont les résultats ont dévoilé les insuffisances de l'existant. Dans le troisième chapitre de cette étude, nous nous sommes principalement appuyés sur les résultats de l'examen pour proposer des solutions.

L'examen de l'existant a montré que le broyeur giratoire Symons et le concasseur à marteaux Moritz ne conviennent pas au traitement de l'attapulгите. Par contre, le concasseur à deux cylindres dentés a tous les avantages recherchés. Toutefois, une étude du mécanisme d'entraînement du concasseur à pointes actuellement en service est nécessaire pour l'amélioration de son rendement.

La configuration actuelle de la chaîne de concassage ne favorise pas une grande ouverture de la maille de la grille de protection. Ainsi, nous avons proposé un nouveau circuit. Ce dernier comporte trois appareils de fragmentation et deux stades de criblage.

Une réduction du taux de fines produites à moins de 15,5% peut être obtenue avec l'emploi de broyeurs à cylindres dentés et l'adoption du circuit de concassage proposé.

L'arrêt de la ligne de concassage pendant l'hivernage et de celle de séchage pendant le mois d'août améliorent notablement la productivité de la chaîne. Cette dernière est consolidée par la rusticité des broyeurs proposés et leurs faibles besoins de surveillance et d'entretien mais aussi par leur rendement élevé.

Nous avons recalculé le four sécheur pour amener sa capacité à la production désirée. La ligne séchage est conservée à l'exception d'un tronçon du transporteur G1.

Pour l'automatisation du four, nous avons proposé un programme sous forme de graficats et des boucles de régulation. Les propositions découlent de la synthèse des critiques sur le fonctionnement actuel, des résultats de nos visites industrielles et d'une analyse fonctionnelle. L'automatisation totale de la marche du four sécheur améliore notablement la qualité du produit fini. A cela, ajoutons les économies qui résultent de la consommation de fuel suite à sa régulation en fonction de l'humidité désirée à la sortie du tube sécheur.

Le choix du logiciel de supervision, de la carte de communication et du câble de liaison ont mis fin à notre étude technique. La supervision du four sécheur réduit sensiblement les pertes de temps dues aux diagnostics et facilite la conduite du four.

La méthodologie suivie tout au long de cette étude est plus ou moins générale. Sur la base des forces et des faiblesses de l'existant et en nous inspirant des solutions classiques, nous avons suggéré les appareils les plus appropriés, une configuration pour la ligne concassage, et un programme d'automatisation totale du four sécheur.

La détermination des débits s'est faite d'abord pour chaque tronçon sur la base de pourcentages. Ces calculs peuvent servir de guide pour une nouvelle répartition des débits en cas de variation de la capacité de production.

Nous souhaitons vivement que la collaboration entre la Société Sénégalaise des Phosphates de Thiès et l'Ecole Supérieure Polytechnique (ex École Polytechnique de Thiès) soit renforcée par le biais de sujets de projets de fin d'études et de stages de maîtrise. Nous espérons que ce travail va être poursuivi pour tendre vers une optimisation de la chaîne de production ou qu'il soit le début d'un itinéraire vers la certification ISO, gage d'une chaîne performante.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **RETIERE D., 1997-1998**
Manuel d'accompagnement de séminaire d'Analyse de la Valeur- (82 pages)
École Supérieure Polytechnique - Centre de Dakar.
2. **SARR N, 1997-1998**
Cours de gestion de la production
École Polytechnique de Thiès.
3. **BREIDENBACH H. & All**
Technique des bandes transporteuses- Études de projets et calculs
BTR Dunlop Belting Group.
4. **BLANC E., 1980**
Préparation mécanique des solides- Criblage - Article A 5 100, 18 pages
Techniques de l'Ingénieur
5. **BLANC E., 1978**
Préparation mécanique des solides- Fragmentation
Articles A 5 050 (9 pages), A 5 060 (17 pages), A 5070 (21 pages)
Techniques de l'Ingénieur
6. **HEILIGENSTAEDT W., 1971**
Thermique appliquée aux fours industriels, Tome II, 316 pages
Dunod, Paris.
7. **SIROIS L., 1967,**
Cours de concassage et de broyage, 231 pages
École Polytechnique de Montréal
8. **CAILLERE S. & HENIN S., 1963**
Minéralogie des argiles
Masson et C^{ie}.
9. **Documentation SSPT.**

ANNEXES

Annexe A-1 : analyses chimiques

N : 30146

PRODUCTION INDUSTRIELLE

ANALYSE CRU

29 MAI 99

Operateur:4404

Atténuation T=26,75

EPT

PRODUIT	FORTE	RESIDUS	S:02	TOTALE
RESIDUS	30,98	0,000	40,800	0,00
CHLORURE DE SODIUM	14,7000		25,0077	1,0000
CHLORURE DE POTASSIUM	1		1	2

COMPLEXOMETRIE

Atténua effectuée sur 2g en titre solution EDTA = 1,01
 Recuperation de 500 ml de filtrat

VOLUME	EDTA	RESULTATS	AUTRES ELEMENTS	SIMPLES
11,40				
10,50		CaO		11,57
1,50		MgO		8,04
7,50		Fe2O3		2,68
1,01		Al2O3		5,28

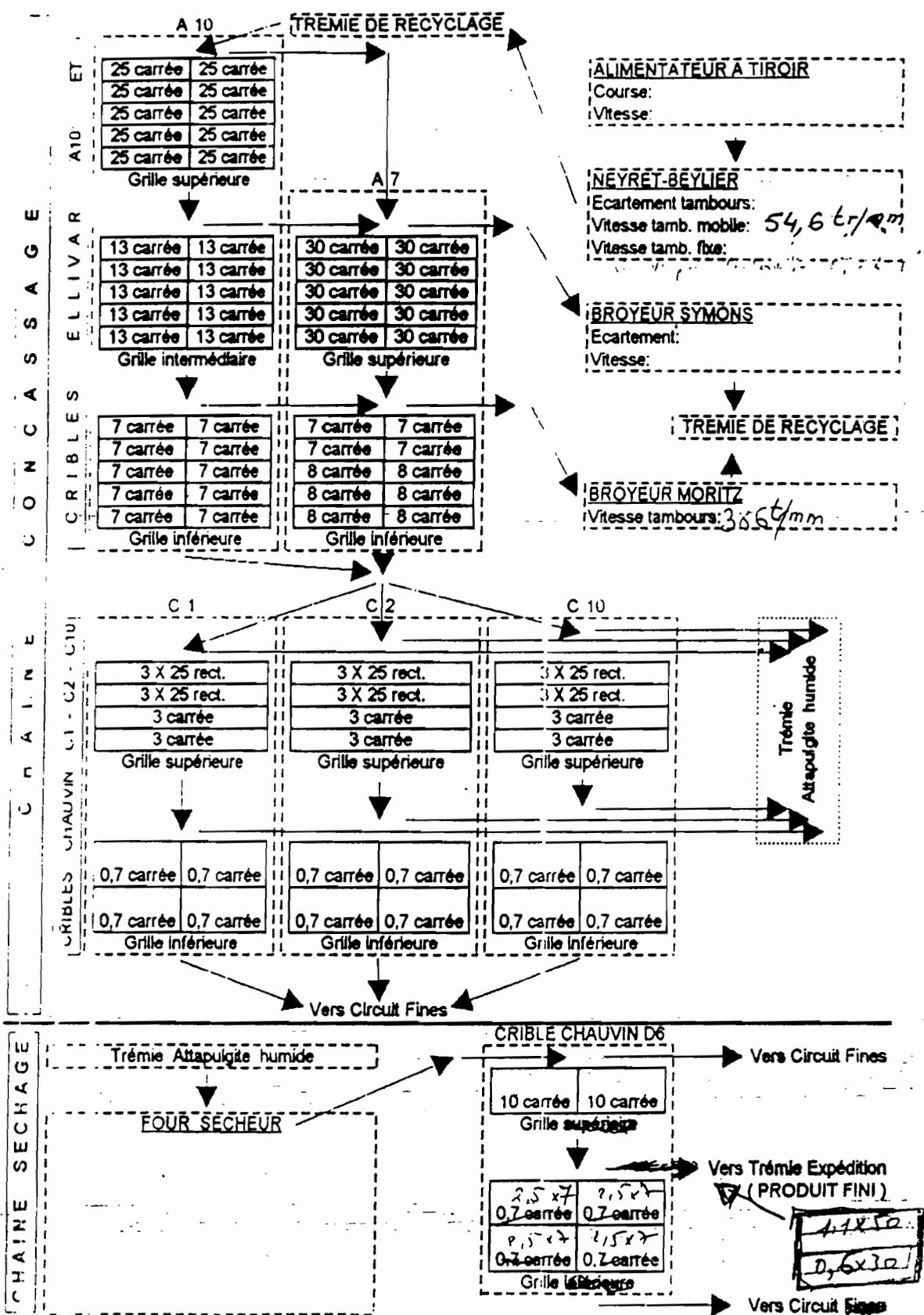
RESULTAT 

DESIGNATION	ELEMENTS	RECHERCHES	CRU	DELTA
S:02	30,98	S:02 T	40,800	S:02
Fe2O3	4,10	Fe2O3	2,68	
Al2O3	0,25	Al2O3	5,28	
CaO	10,57	CaO	11,57	Delta de 186,78
MgO	10,58	MgO	18,04	M.S. 3,28
S:02	30,98	S:02		M.A/F 1,97
CHLORURE DE SODIUM	14,7000	CHLORURE DE SODIUM	30,98	
CHLORURE DE POTASSIUM	1	CHLORURE DE POTASSIUM		Delta de 186,18
TOTA	68,84	TOTAL	99,35	

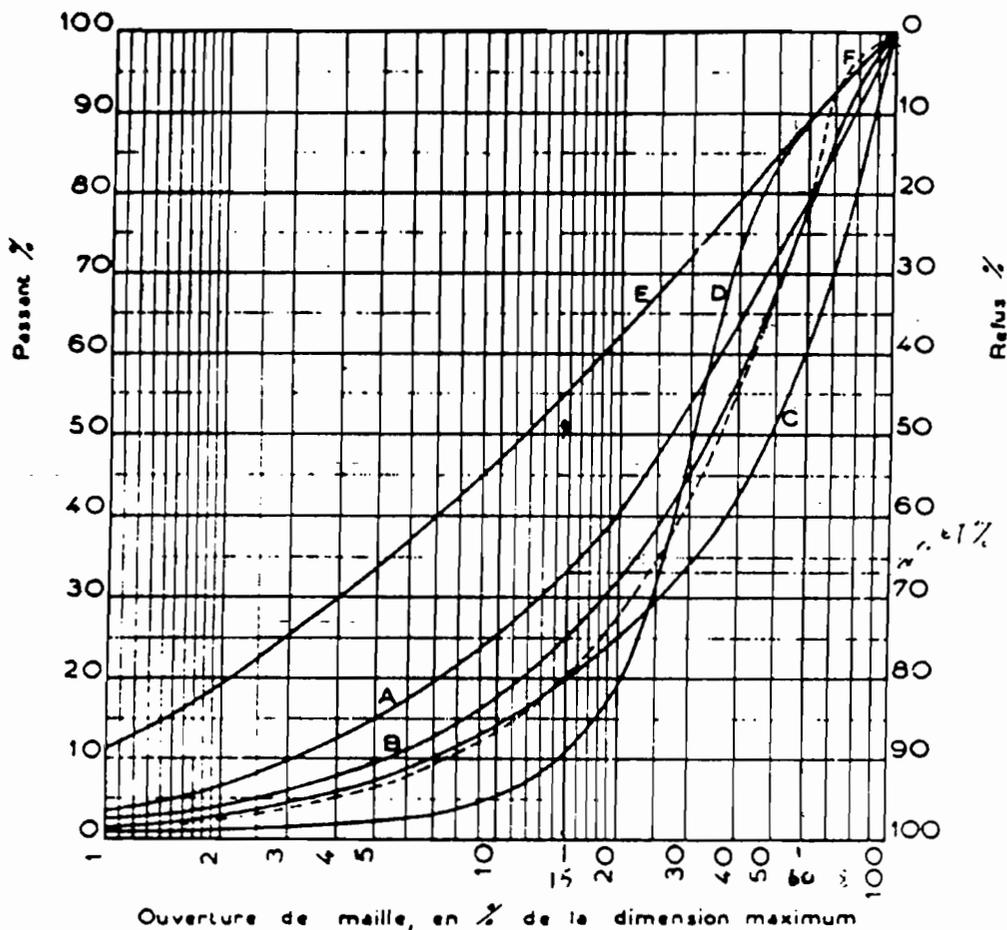
A.2

PARAMETRES DE MARCHÉ SUR CHAÎNE DE TRAITEMENT

MODIFICATION DES PARAMETRES EFFECTIVE LE: 01/01/1994



Annexe : A.3



Analyses granulométriques caractéristiques des produits de divers types de concasseurs d'après Taggart.

- A. Concasseurs à mâchoires.
- B. Concasseurs à marteaux.
- C. Broyeurs à cylindres lisses en circuit ouvert, alimentation avec une couche de grains.
- D. Broyeurs à cylindres lisses en circuit fermé avec un crible, alimentation avec une couche de grains.
- E. Broyeurs à cylindres lisses en circuit fermé avec un crible, alimentation à gueule pleine.
- F. Concasseur à cylindre denté (trafts interrrompus).

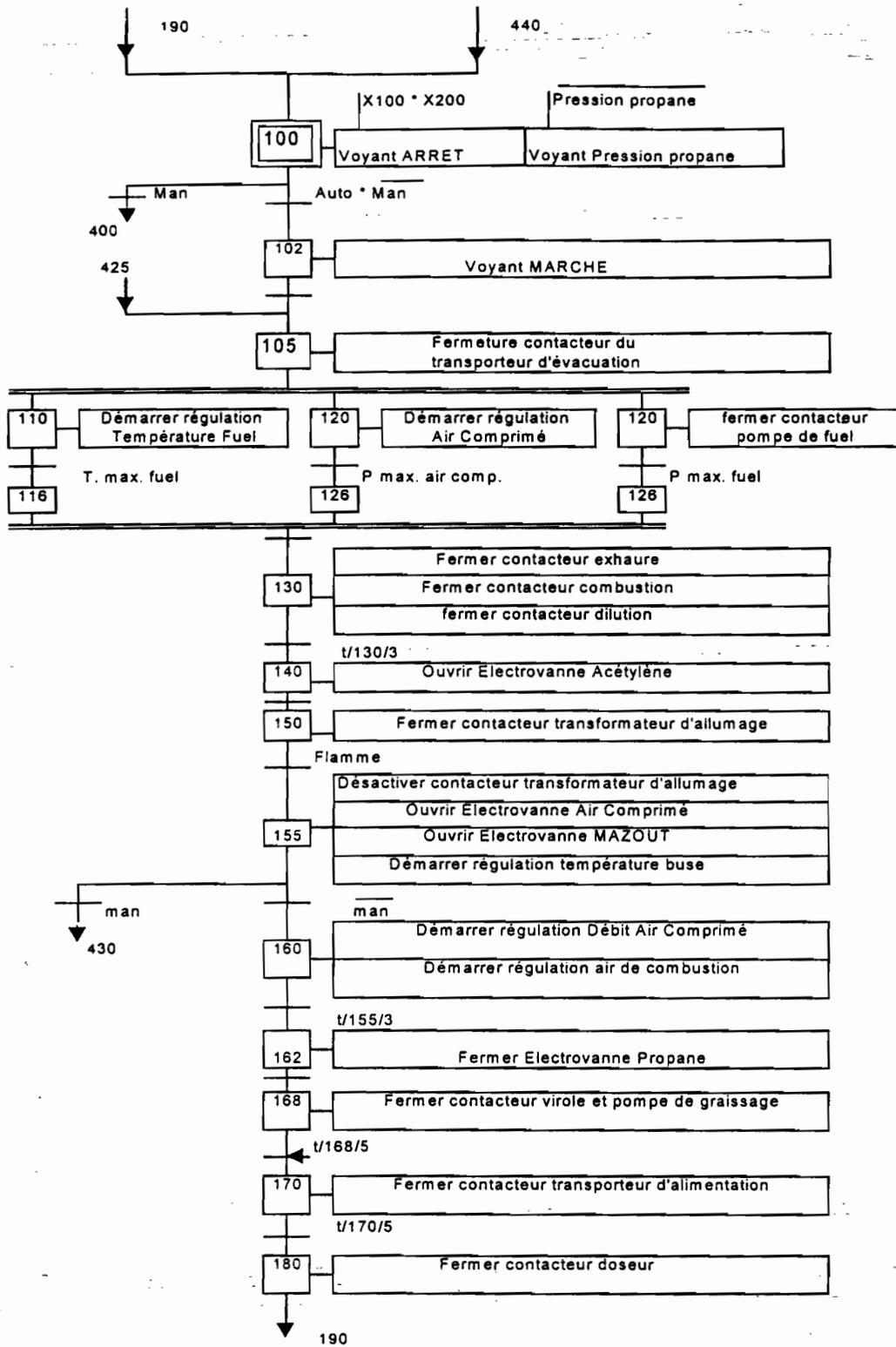
(Tiré du cours de concassage et de broyage -
 Ecole Polytechnique de Montréal
 - 1967 -)

ANNEXE A-4

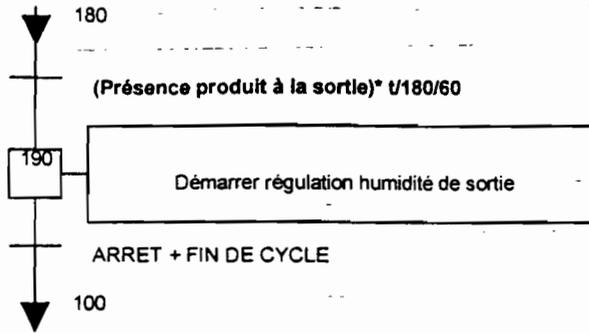
**Graficets proposés
pour l'automatisation
du four sécheur**

Liste des abréviations

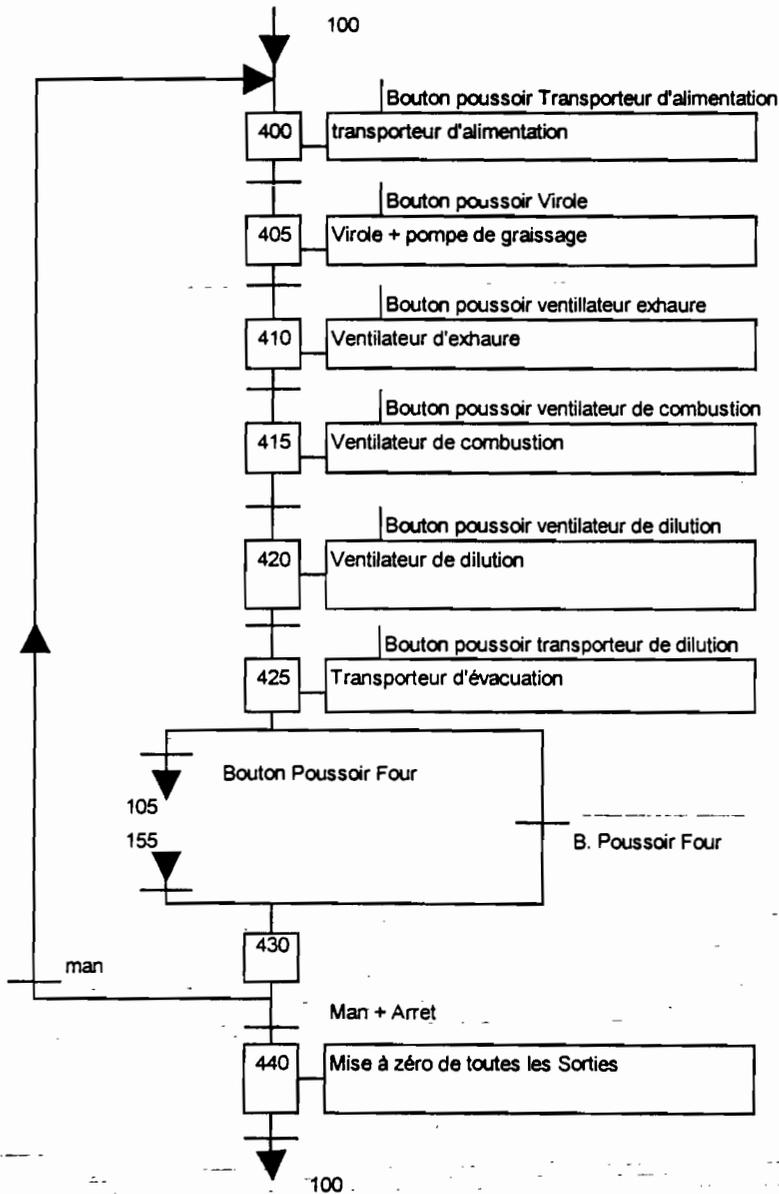
Bit	Bit interne de l'automate
CDF	consigne ou mesure de débit de fuel
CH	Consigne d'humidité
Condition d'arrêt d'urgence	somme des signaux de dysfonctionnement
DNF	Débit nominal de fuel
DPE	détecteur de produit entrant
EVM	signal de commande électrovanne mazout
Flamme	Signal du détecteur de flamme
MHS	Mesure de l'humidité sortante
Pinf	Pression minimale tolérée pour l'air comprimé
Pmax	Pression maximale de régulation
Produit à l'entrée	Signal du détecteur de produit à l'entrant
Produit à la sortie	Signal du détecteur de produit à la sortie
Relais thermiques	Etat des relais thermiques
Sectionneurs	Etat des sectionneurs
Tc	Durée de chauffage pour atteindre Tmax
Tco	Durée de compression pour atteindre Pmax air comprimé
Tinf	Température minimale de fuel tolérée
Tp	Durée de pompage pour atteindre Pmax fuel
ttp	Temps de transport du produit du doseur à la buse
tvts	Temps de vidange du transporteur de sortie.



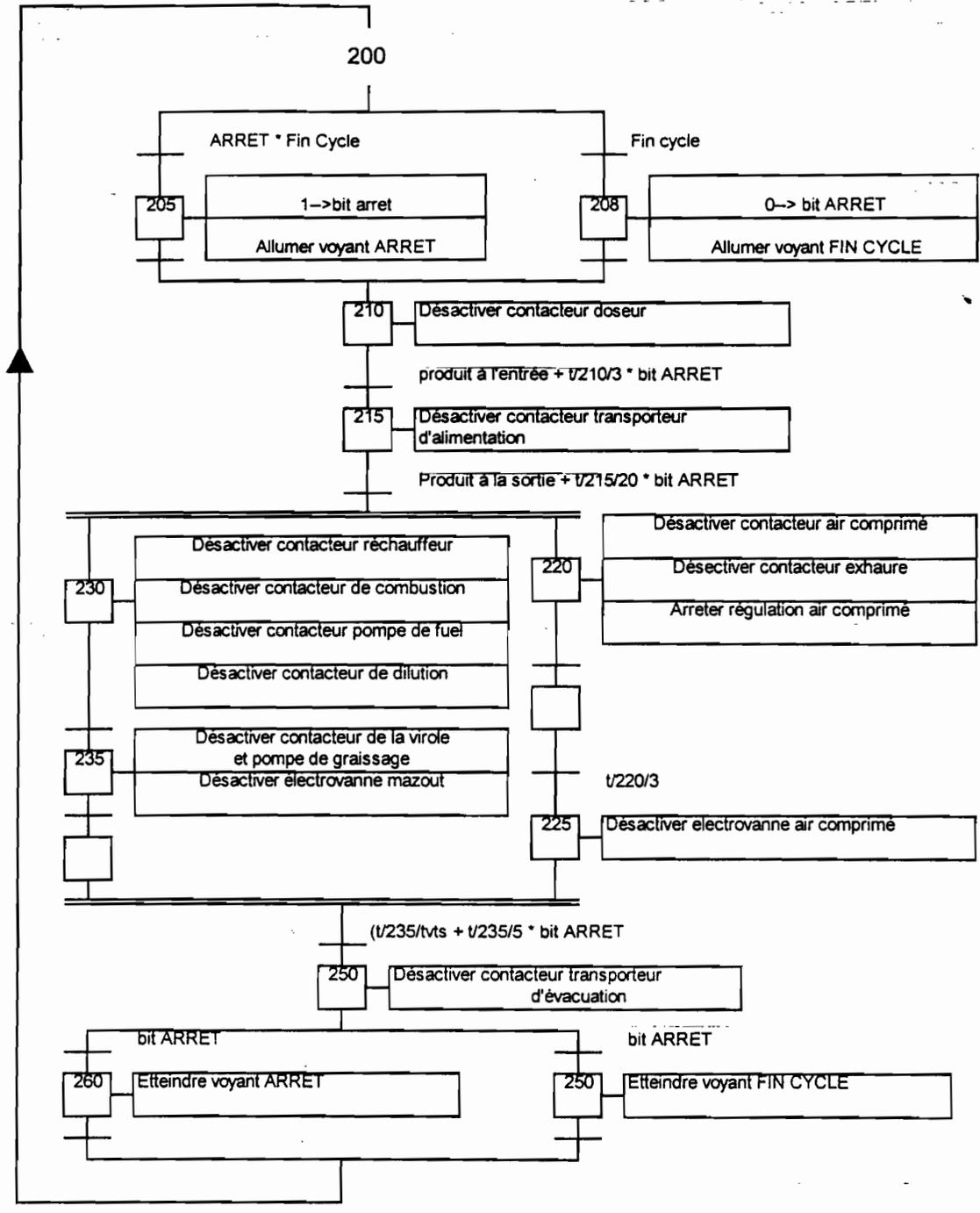
(a) Tronçon du grafcet principal pour la marche de préparation



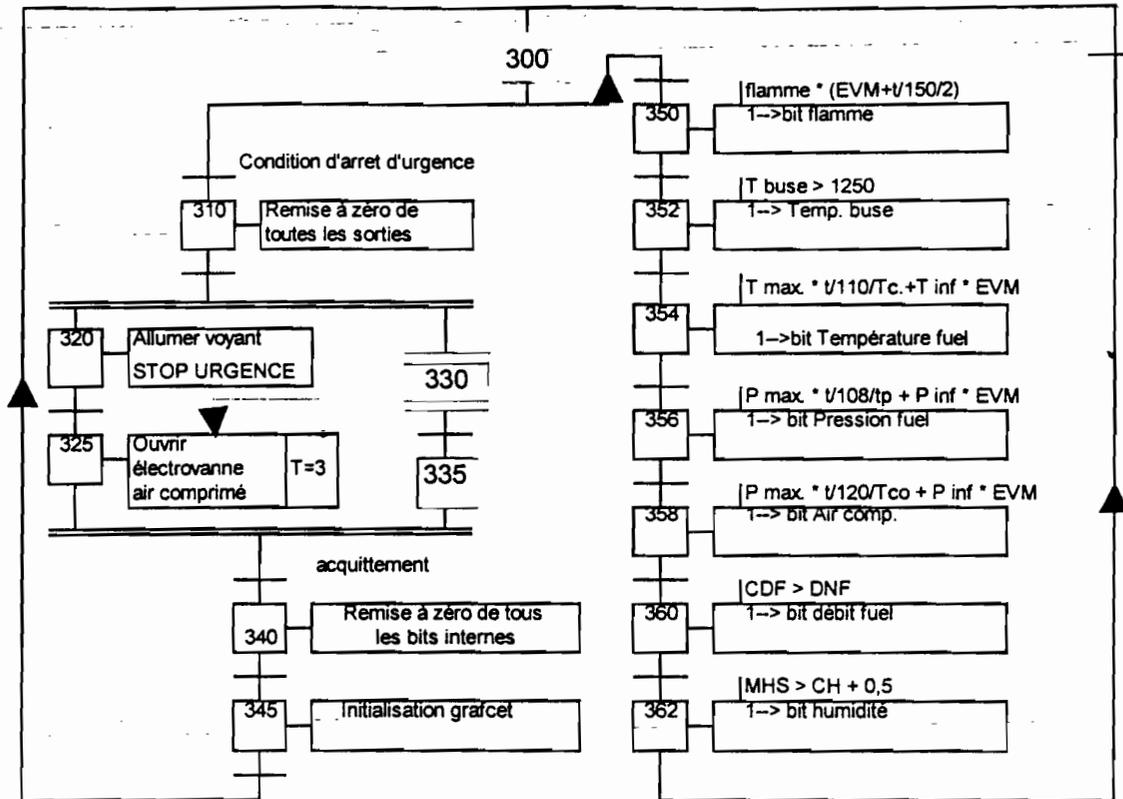
(b) Tronçon du grafcet principal pour la marche de produvltion normale



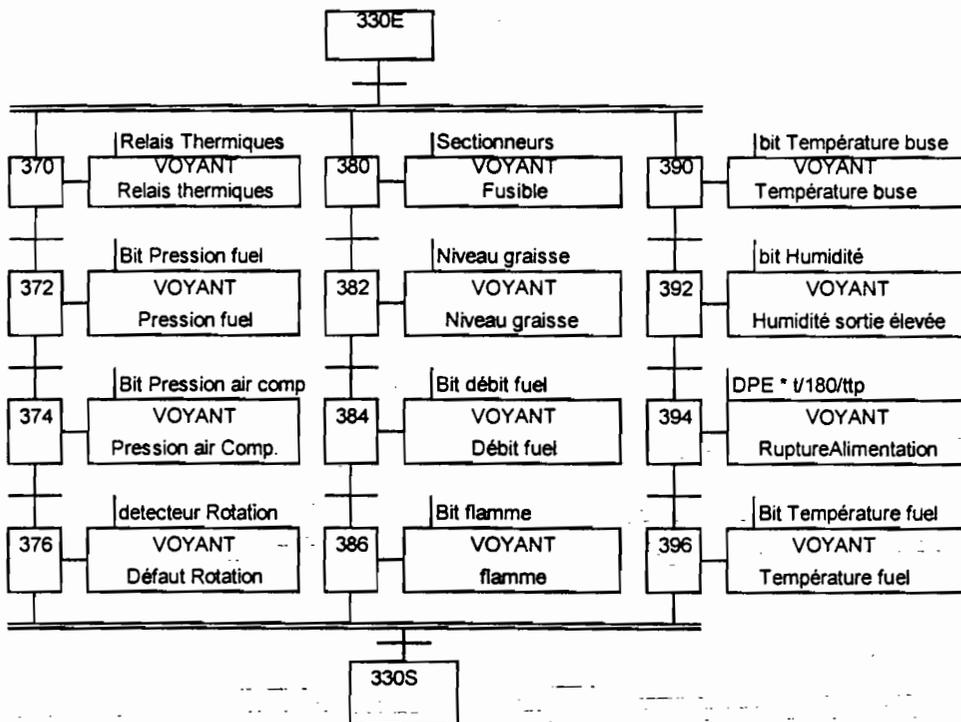
(c) Tronçon du grafcet principal pour la marche de vérification dans le désordre



(d) Grafset d'arrêt demandé dans un état déterminé



(e) Grafcet d'arrêt d'urgence avec macro-étape

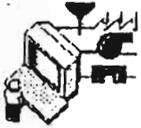


(f) Macro-étape du grafcet d'arrêt d'urgence pour allumage du voyant de défaut

ANNEXE A-5

**FEUILLE DE PRESENTATION
DU LOGICIEL DESUPERVISION :**

LE RSVIEW 32



RSView



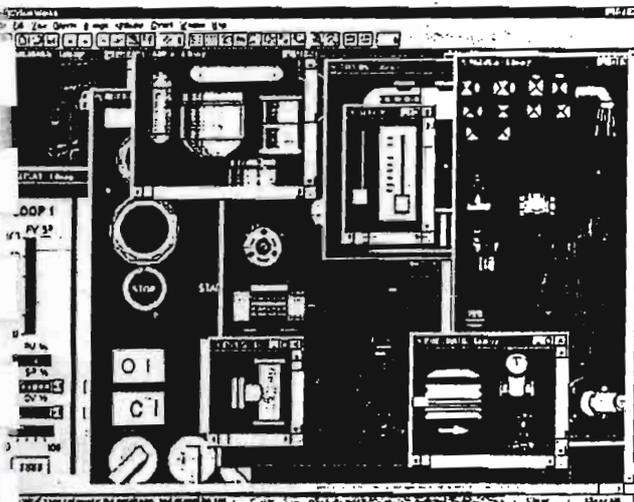
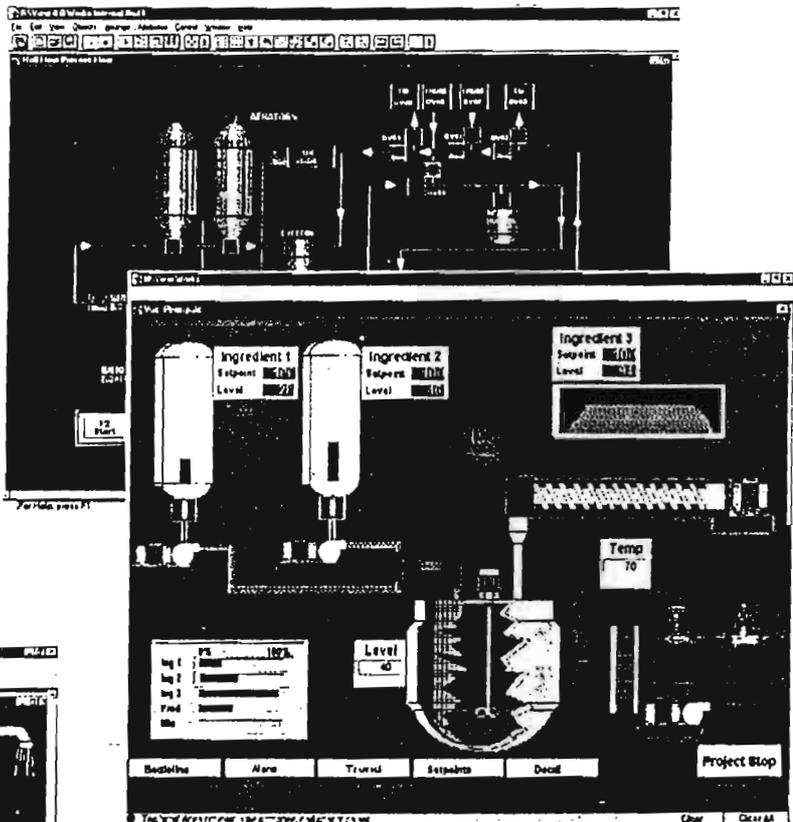
Présentation

RSView™ est un système complet de surveillance, de contrôle et d'acquisition de données. Conçu pour être utilisé dans l'environnement Windows™ 95 ou NT, RSView optimise les fonctions OLE, ODBC et DDE et s'intègre aux autres produits Rockwell Software et Microsoft®. Son interopérabilité avec les outils de programmation automates, son graphisme d'animation orienté objet, sa base de données ouverte, son format d'archivage DBase transforment les méthodes traditionnelles de configuration du poste opérateur pour la supervision.

Editeur et bibliothèque graphiques

RSView permet d'élaborer rapidement des applications complexes à l'aide d'un éditeur et d'une bibliothèque de graphiques bénéficiant de la puissance de l'orienté objet :

- Intégrez des Sommaires d'alarmes, les courbes de tendance, de la gestion de recettes ainsi que des présentations vidéo.
- Editez en ligne, même avec d'autres vues en cours d'exécution.
- Créez et modifiez des points de la Base de données, des paramètres de communication, tels que des adresses de stations, des réseaux PLC® et des drivers de communication, sans interrompre votre travail.
- Importez des fichiers .dxf, .bmp et .wmf provenant d'autres applications.
- Modifiez des groupes d'objets sans avoir à les dégroupier.

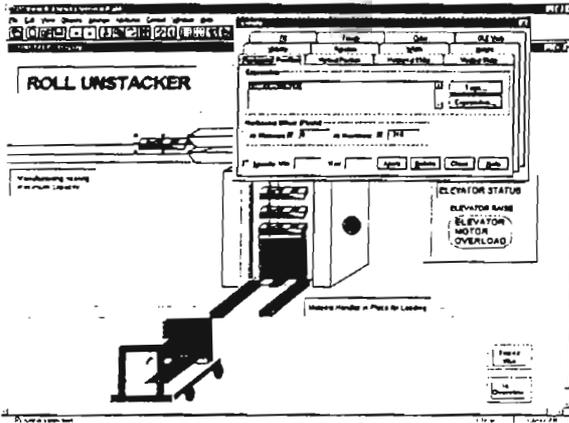


- Utilisez les fonctions glisser-déplacer, couper/coller et presse-papiers pour sélectionner des objets dans la bibliothèque (sondes, réservoirs, tubes, machine bouton face avant de régulateur, symboles ISA etc.) et les amener dans l'éditeur de graphiques.
- Créez votre propre bibliothèque de symboles.

(2)

Animation

Donnez de la vie à vos graphiques en les animant. Pour cela,

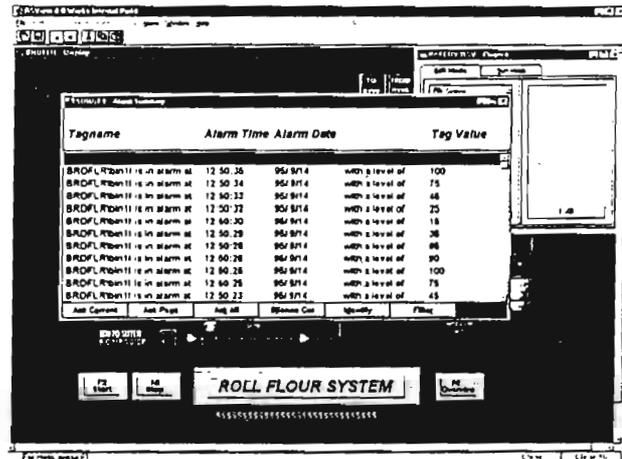


- Faites des présentations de style diaporama sonorisées, donnez à vos graphiques du mouvement, modifiez leur taille et leur couleur.
- Grâce à l'Object Smart Path (OSP) jouez sur leur taille et leur position.
- Testez rapidement votre animation, en passant en Mode test dans l'Editeur de vues graphiques.
- Retrouvez et réutilisez des objets animés avec l'option rechercher-remplacer.
- Réalisez vos présentations avec n'importe quelle résolution vidéo.
- Animez vos graphiques de type .dxf et .wmf

Alarmes/Détection d'évènements

Personnalisez et affichez un ou plusieurs Sommaires d'alarmes sous forme graphique et intégrez-le(s) à des synoptiques.

- Définissez jusqu'à huit seuils d'alarme par point analogique.
- Définissez l'état binaire des alarmes digitales.
- Consignez les messages d'alarme à l'écran, sur imprimante ou fichier.
- Choisissez un certain nombre d'informations à inclure dans le Sommaire des alarmes : nom ou valeur du point, heure d'alarme, niveau de sévérité, nom de l'opérateur, etc.
- Créez et insérez dans le Sommaire des outils de commande liés aux alarmes : boutons, Acq courant, Acq tous, Acq page, etc.
- Ajoutez des filtres aux alarmes qui sont affichées.
- Acquitez les alarmes simultanément avec la fonction d'Acquittement d'alarme globale de RSVIEW.
- Informez l'automate d'un retour de commande d'Acquittement.



Utilisez les options de détection d'évènements de RSVIEW pour :

- Exécuter le lancement et la surveillance des points d'alarmes
- Afficher les vues synoptiques
- Exécuter des macros basées sur des évènements spécifiques.

Outils de productivité

Economisez votre énergie et votre temps lors de la création de la base de données de points.

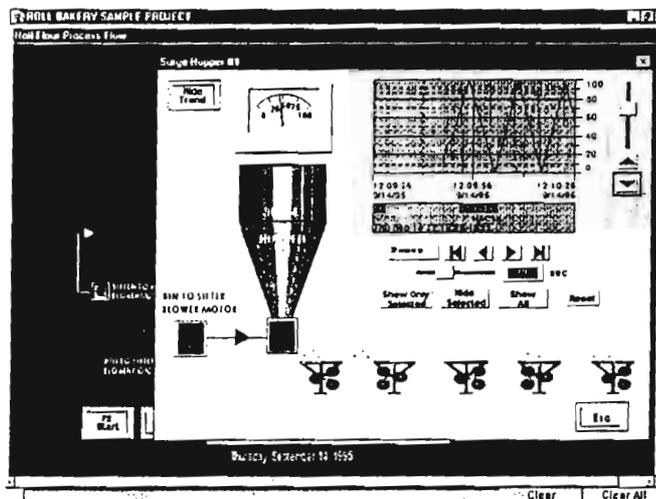
- Utilisez l'Assistant automatique pour importer/exporter des points.
- Importez directement vos applications développées avec la version DOS.
- Importez des bases de données entières de type AI ou WIntelligent Logic 5™.
- Utilisez l'explorateur de points de RSView afin de sélectionner des points individuels provenant de bases de données AI ou WIntelligent Logic 5.
- Organisez, classez et groupez les points de votre base de données grâce aux arborescences type dossiers de RSView.

Le gestionnaire de programme de RSView vous permet de démarrer l'ensemble des fonctions d'édition et d'exécution, d'organiser les composants de projet. Vous pouvez également éditer et exécuter plusieurs applications simultanément. L'enregistrement des fichiers d'application, notamment graphiques, peut être réalisé sur un serveur de fichiers.

Enregistrements et courbes de tendances

Vous pouvez consigner des données avec RSView et les sauvegarder dans un format .DBF, insérer des courbes de tendances dans une vue graphique.

- Choisissez parmi les options de consignation suivantes :
 - > périodique, sur demande, ou sur changement d'état.
- Utilisez un autre logiciel, comme Excel™ ou Word™ de Microsoft, ou Paradox™ de Borland®, afin d'extraire ou de produire un rapport de données.
- Les options de consignation et de tendances peuvent fonctionner indépendamment l'une de l'autre.
- Personnalisez vos courbes de tendances. Cette option propose jusqu'à 16 plumes.
- Superposez les fenêtres pour pouvoir faire des comparaisons, par exemple entre des données historiques et temps réel.
- Ajoutez des boutons de type « VRC » pour se déplacer en avant ou en arrière, sur n'importe quel point de la courbe de tendance.



Sécurité

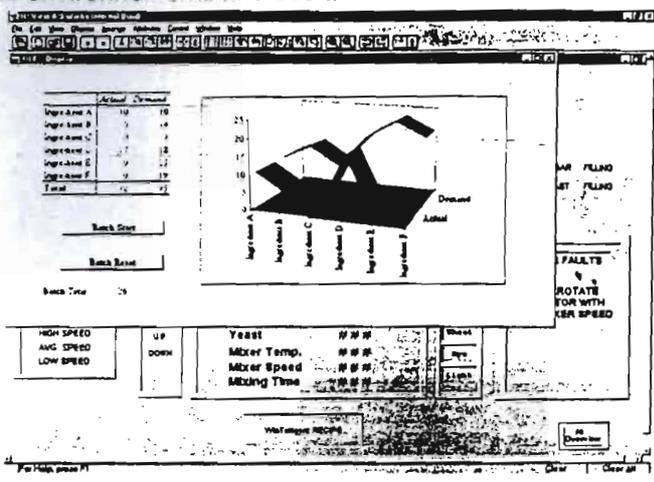
- Installez une commande de sécurité sur chaque composant de RSView : graphiques, points de la base de données ou commandes système.
- Personnalisez l'environnement RSView par la fonction "login/logout".
- Désactivez certaines fonctions de la souris ou certaines touches Windows (par ex. Ctrl-Alt-Suppr) pour un-utilisateur non autorisé.

(6)

Technologie Microsoft

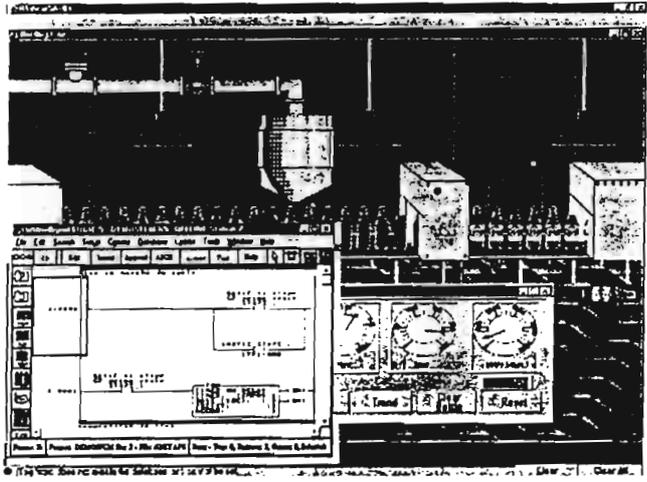
RSView a été conçu pour tirer le meilleur parti des environnements Microsoft.

- Le standard ODBC de base de données permet à RSView de fusionner les champs de configuration des points avec d'autres fichiers de bases de données .DBF et d'autres applications de type Paradox, FoxPro et Microsoft Access.
- La conception d'automatisation OLE crée un environnement d'édition interactif avec d'autres applications OLE.
- RSView fonctionne à la fois comme serveur et client DDE ; les valeurs de points et informations correspondantes peuvent aisément être échangées avec d'autres applications client/serveur DDE (RSView, Visual basic, Excel, Word, Access, ...).
- L'historique des données est enregistré au format .DBF, ce qui permet, par exemple, d'utiliser Crystal Reports pour la création et l'analyse de production.



Interaction avec la famille WIntelligent

RSView, comme les autres produits Rockwell Software et Allen-Bradley, allie vitesse et efficacité :



- L'explorateur de RSView permet d'importer et d'utiliser directement des points WIntelligent Logic 5 et AI 5.
- Lancement d'autres applications telles que WIntelligent Logic 5 et AI 5 à partir de la ligne de commande de RSView.
- Affichage d'un schéma relais.
- Partage de la base de données de points avec PanelView 1200e/1400e.

Plate-forme matériel

- IBM® -PC compatible base Pentium75 ou supérieur
- 16 Mo mémoire RAM minimum, 32 Mo recommandé
- Microsoft Windows 95
- 200 Mo espace disque

Rockwell Automation
 36 avenue de l'Europe - 78941 Vélizy Cedex - FRANCE
 Tel. (33-1) 30 67 72 00
 Fax. (33-1) 34 65 32 33