

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département de génie Minier
Option Génie Minier



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de magister

THEME

SIMULATION D'UN CIRCUIT DE TRAITEMENT D'UNE MATIERE MINERALE

Etudié par :

M^{elle} Karima DERRICHE

Proposé et dirigé par :

D^r M. OULD HAMOU

Soutenu devant le jury

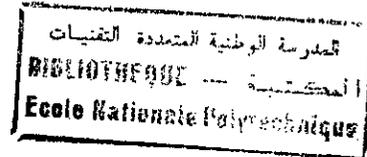
P^r A. BALI
D^r M. OULD HAMOU
M^r M.L. DJEGHLEL
M^r A. SAADA
D^r M. AGUID
D^r K. OUMRACI

Professeur à l'ENP
Chargé de cours à l'ENP
Chargé de cours à l'ENP
Chargé de cours à l'ENP
Maître de conférences à L'ENP
Chargé de cour à l'ENP

Président de jury
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur
Invité

Année Universitaire 2000/2001

SOMMAIRE



ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	1
INTRODUCTION :.....	5
CHAPITRE I : Généralités sur la simulation.....	8
Introduction	
I. Définition :.....	11
II. Utilisation :.....	14
CHAPITRE II : Déroulement Des Opérations.....	17
Introduction :	
I. Définition et identification des entrants et sortants d'une installation de carrière.....	18
II. La modification des équilibres de fonctionnement.....	19
III. Traitement des granulats / Schéma général.....	22
Conclusion.....	24
CHAPITRE III : Optimisation	25
Introduction :	
I. Optimisation et simulation numérique des opérations de concassage	26
II. Optimisation et simulation numérique des opérations de broyage....	29
III. Optimisation et simulation numérique des opérations de criblage....	30
IV. Optimisation et simulation numérique de transport et manutention..	32
CHAPITRE IV : Analyse des résultats.....	33
Introduction	
I. Organigramme.....	35
III. Description du simulateur.....	36
IV. Analyse des résultats.....	39
Conclusion.....	39
CONCLUSION :.....	40
ANNEXES :.....	43
REFERENCES :.....	60
BIBLIOGRAPHIE	62
IINDEX	
MOTS CLES	

هذه الدراسة موجهة في الاطار النظري من أجل التحقيق لنموذج مصطنع لدارة معالجة معدن ميني على أساس نتائج متخصص ل عليها باستعمال قوانين مختارة ووثائق لمصنع مختصين في هذا المجال.

سمي هذا النموذج ب: (Siop).

هذا الأخير يسمح لنا بإنجاز الحسابات و ضبط آلات السحق, التفتيت, الغريلة و حتى آلات المعدن من مكان الى آخر. تسمح لنا مختلف شاشات العرض بالرسم, الحساب و كذلك كشف الأخطاء التي ترتكب أثناء الاستعمال.

Résumé :

Cette étude a été envisagée sous un aspect théorique pour la vérification d'un modèle de simulation d'un circuit de traitement, construit à partir des résultats obtenus en utilisant des formules sélectionnées et les catalogues des différents constructeurs....

Le simulateur développé a été appelé SIOP .1.0 (Simulator Of Installation Of Ore Processing).

Il permet le calcul et les réglages optimaux d'une installation de fabrication de granulat quelconque aux moyens d'outils graphiques. Ces multiples interfaces sont intuitives et facile à utiliser.

ABSTRACT :

This present study has been considered under a theoretical aspect to verify a model of simulation of a circuit of treatment, built from the results obtained by using a selection of formula and datas of different constructors.

The simulator hence developped, is called SIOP (Similator of Installation of Ore Processing). It allows the calculation and the optimal adjustment of any instalation of manufacture agregats. With the means of graphic tools. This multi-Windows is intuitive and easy to use.

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة
BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

MOTS CLES

كلمات أساسية

دارة معالجة, سحق, تفتيت, غربلة, نقـل, معدن, نمـوذج, ضبط, حصي,
شاشة, رسم, حساب.

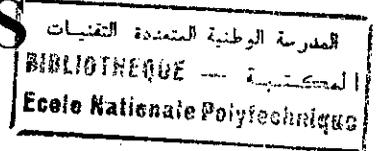
MOTS CLES

Simulation, Installation de traitement,
Simulateur, Concassage , Criblage, Transport,
Réglage, Granulat, Interface , Graphique, Calcul.

KEY WORDS

Simulation, Circuit, traitement, Calcul, craphic,
agrigat, Riddling, Crushing, Transportation,
Adjutage, Instalation, ore processing

REMERCIEMENTS



Je voudrais exprimer ici ma profonde gratitude à tous ceux qui de près ou de loin, m'ont aidé à mener à bien ce travail de recherche notamment :

- Mon responsable scientifique, Monsieur M. OULD HAMOU, Docteur à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger qui a accepté de m'encadrer et qui, toujours, au cours de cette étude m'a prodigué sans mesure ses conseils et ses encouragements, je le remercie vivement.
- Monsieur le président ainsi que tous les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce modeste travail.
- Monsieur A. BENARIF Directeur Général ENCOTEST, dont l'appui moral constant et les conseils avisés au niveau de l'orientation des travaux m'ont été d'un grand secours.

Monsieur AIT YOUNES responsable Matériel à COSIDER Carrières, pour ses explications

- Bien entendu, je suis très reconnaissante également à Monsieur S. BENARIF, Ingénieur, pour son aide, notamment pour l'établissement des programmes de calcul et la mise au point du simulateur.
- Tous les invités des différentes entreprises et établissements qui ont bien voulu m'honorer ici de leur présence.

Je n'oublie pas non plus tous les enseignants du Département génie Minier ainsi que :

- Monsieur ACHAB ; Directeur technique ENG.
- Monsieur BAAZIZ ; Docteur d'état ; conseiller du PDG ENG.
- Monsieur A. MERROUCHE; Directeur D.T.I .
- Mademoiselle N. HAMZA Ingénieur COSIDER - Carrières.
- Monsieur S. ADROUCHE ; ancien élève de l'ENP et Expert à l' E.M.A .

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à :

- A ma très chère Maman qui a toujours espéré me voir obtenir le titre magister et même celui de doctorat. Je demande à Dieu de la protéger jusqu'à ce qu'elle me voie obtenir le titre de doctorat, si Dieu le veut et qu'il la garde pour moi..
- A mes sœurs Hayet, Samia et Souad, lesquelles n'ont failli à aucun moment dans leur soutien multiforme.
- A mon très cher frère Fethi .
- Mes beaux-frères Amor et Hocine.
- A mes petites-nièces Oriane et Alicia ainsi que mes petits-neveux Wassil, Yanis et Hatem.

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHÈQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Le sujet du présent mémoire constitue un domaine de recherche dont le champ d'application s'élargit pour toucher tous les différents stades de la matière y compris le traitement de minerai.

En plus de l'évolution dans le domaine propre au traitement technologique, d'une manière générale a permis de développer les méthodes et d'analyser par l'introduction de l'outil informatique.

Pour notre sujet, nous avons choisi de travailler sur une fabrication de granulat quelconque (non abrasif et sans eau).

Après étude des différentes publications et thèses sur ce sujet, l'expérience tirée de la confection de ce mémoire, nous pouvons dire que le développement de la simulation est à même dans l'avenir de remplacer les anciennes méthodes de calcul, d'analyse et d'évaluation relatives aux processus complexes de traitement et ce pour ouvrir une nouvelle ère.

Les résultats probants obtenus à ce jour permettront par leur développement de mettre à la disposition des ingénieurs de bureaux d'étude un moyen de calcul efficace et rapide. La simulation de procédé permettra à partir des données constituant les résultats souhaités de monter l'ensemble nécessaire, l'équipement, pour réaliser au meilleur coût et meilleur rendement l'ensemble nécessaire.

L'exploitation de ces logiciels ne nécessitera pas la maîtrise de calcul ou / et des méthodes de préparation. Il faudra seulement une mise en œuvre et l'interprétation des résultats.

COMMENTAIRE SUR LA BIBLIOGRAPHIE :

L'un des problèmes de la simulation des circuits de traitement est le choix du modèle mathématique à utiliser (formules utilisées).

Dans la confection du présent mémoire, nous avons consulté toute une série de publications, études et thèses qui nous ont été remises par :

- ENG : Entreprise Nationale des Granulats.
- COSIDER carrière.
- Le Directeur de Recherche .
- La bibliothèque centrale de l'ENP.
- British Library
- Internet.
- Notice technique et revue des constructeurs d'équipement (DRAGON ALLIS CHALMER, BERGEAUD).

De toutes ces recherches bibliographiques nous avons extrait différentes lois utilisées pour caractériser, d'une manière continue, la répartition par taille des particules appelée distribution granulométrique. Ces lois sont :

- La loi de Rosin – Rammler
- La loi de Gaudin –Shuhmann
- La loi Log-Normal
- La loi de Lippek
- La loi de Reid.
- La loi de Degoul
- La loi de Hersann

Toutes ces formules sont données dans l'annexe N°3

D'une façon générale nous avons constaté que l'application de ces formules fait appel à des méthodes expérimentales pour déterminer les différents diamètres des courbes de distribution. Ceci rend extrêmement difficile leur application pratique dans le système de simulation que nous avons retenu à cause du manque d'informations fournies par les différents constructeurs d'équipements.

Dans toutes les revues et documentations consultées, nous avons sélectionné les formules les plus adéquates, applicables et vérifiables en fonction des données des constructeurs d'équipements.

L'efficacité de notre simulateur a donc pu être vérifiée par les tableaux de résultats donnés dans les catalogues des différents constructeurs.

INTRODUCTION

INTRODUCTION :

Il est rare de trouver dans la nature des gisements de granulats qui ont exactement les mêmes caractéristiques techniques désirées leur permettant de remplir sans traitement les fonctions aux quelles ils sont destinés. Il faut donc les produire en concassant, en broyant et en criblant dans des installations de production et de traitement, le tout venant de roches abattues par explosif au front de taille, pour les rendre conformes aux exigences du cahier de charges et des devis généraux.

Que ce soit pour un circuit de traitement de minerai, pour produire des granulats ou des minéraux industriels, les étapes de classification sont des éléments déterminants pour l'optimisation des flowsheets; Dans un circuit de broyage fermé, la qualité du classificateur permettra d'optimiser la charge circulante et donc d'atteindre la consommation énergétique optimale pour une granulométrie de produit donnée. Dans l'industrie des granulats, c'est la qualité des coupures granulométriques qui détermine la qualité des produits finaux : limiter les déclassés dans une tranche donnée est donc capital. Pour les minéraux industriels, le challenge n'est pas moindre. En effet, à côté des applications traditionnelles telles que charges ou pigments dans les papiers, cartons, matière plastique, élastomère, polymère, peinture, comme constituant finement divisés des colorants opacifiants, émaux céramiques, abrasifs, etc... de nouvelles applications ont été développées dans des domaines de technologie plus avancés tels les céramiques , les cosmétiques, les produits pharmaceutiques, la métallurgie des poudres, les encres, les vernis, les toners, les biocéramiques, les liants hydrauliques à haute performance mécanique, les lubrifiants solides etc. ...

Les utilisateurs exigent des produits de plus en plus fins, des distributions granulométriques et des facteurs de forme contrôlés et de surface spécifique élevée, adapté à chaque application, ce qui nécessite une classification très performante, notamment en voie sèche. L'impact économique de la classification est donc clairement démontré et la mise en œuvre de toute technique d'optimisation s'impose.

Deux approches visant à améliorer les performances des installations en terme de qualité des produits, de consommation énergétique ou de limitation des effluents sont communément utilisées dans les industries chimiques et pétrochimiques.

Il s'agit du contrôle de procédé et de la simulation statique ou pré contrôle. Ces techniques sont beaucoup moins employées dans l'industrie du traitement des matières minérales. Les spécificités du traitement des matières minérales proviennent :

- De la variabilité de la nature de la matière première,
- Des difficultés de mesure (granulométrie ou libération minérale),
- Des difficultés de contrôle des installations (manipulation de la matière minérale morcelée, débits importants, etc.

Ceci conduit à une approche souvent largement empirique, qui repose sur des essais réalisés parfois à l'échelle de laboratoire, mais souvent à l'échelle pilote ou industrielle. Ces essais conduisent à la formulation de modèles construits à partir de concept énergétique pour le broyage.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR LA SIMULATION

GENERALITES :

La mise en œuvre d'une approche basée sur la simulation suit la même méthodologie qu'un audit d'installation ; Le simulateur étant un outil supplémentaire dans les mains de l'ingénieur de procédé pour générer des informations manquantes, valider des alternatives de modifications et conduire à une prise de décision quantifiée et clairement étayée techniquement et économiquement. En fonction de l'objectif du projet, conception d'une nouvelle installation, de l'optimisation ou d'adaptation d'une installation déjà en place, des méthodologies existent permettant l'utilisation des outils disponibles dans un simulateur (modèles d'opérations unitaires, algorithme de réconciliation de données de simulation ou d'optimisation etc.). [01]

Par exemple pour améliorer ou modifier un circuit existant, les étapes suivantes sont généralement nécessaires :

- 1/ Acquisition des données sur le site (analyse de documents, des bilans de production, échantillonnage des flux pas ou mal connus).
- 2/ Traitement des données brutes (formalisation du flowsheet réellement utilisé, traitement statistique par bilan matière, ...etc) pour obtenir une photo instantanée de l'installation
- 3/ création d'un simulateur de l'installation en ajustant les modèles mathématiques sélectionnés aux données validées issues de l'étape précédente.
- 4/ Utilisation du simulateur pour tester toute idée d'amélioration du circuit (flowsheet, réglages, changement d'appareils, etc.) et rechercher les conditions optimales de fonctionnement. Pour une conception préliminaire, les étapes sont décrites.

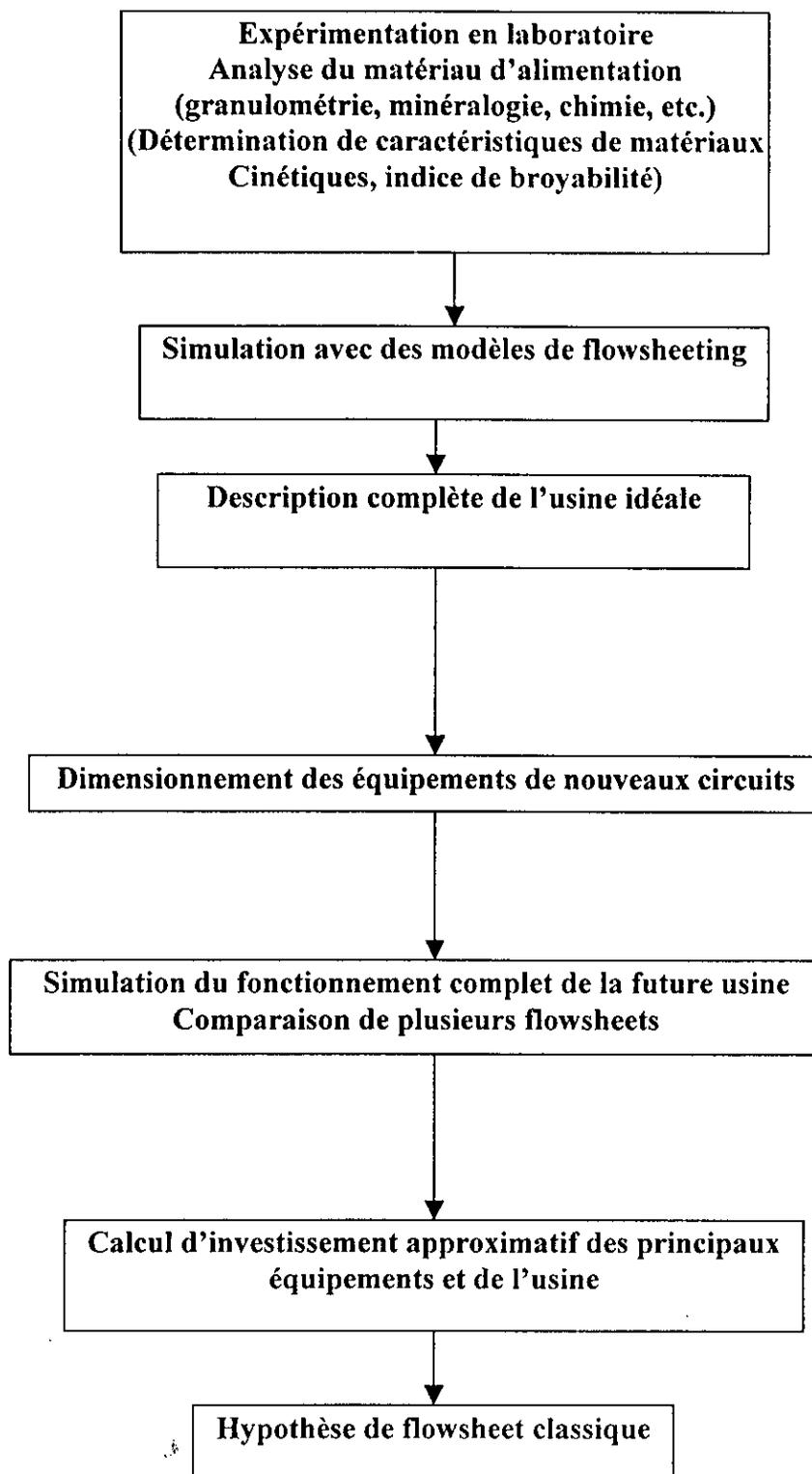


Figure I.1 : Démarche de conception préliminaire à l'aide de la simulation [Mines et Carrières Déc. 1998].

I. DEFINITION :

Les démarches décrites ci dessus sont générales et peuvent s'appliquer tout aussi bien à un circuit de traitement de minerai (comprenant broyage, classification, flottation, cyanuration, etc.) qu'à un circuit de production de granulats. [01]

I.1 LES MODELES :

Un modèle d'opération unitaire est une représentation formalisée du fonctionnement d'un appareil.

En fonction du point de vue formalisateur certains aspects peuvent être privilégiés, comme :

- La consommation d'énergie,
- L'influence des conditions opératoires sur les performances,
- La résistance mécanique des pièces d'usure qui a un impact sur les consommables,
- La conception de l'appareil etc.,

Ces aspects représentent les préoccupations du concepteur du modèle :

- Concevoir un appareil,
- Concevoir une installation,
- Etudier une adaptation de la production au marché,
- Evaluer l'influence d'un changement de qualité du gisement sur les performances de l'installation,
- Anticiper le changement des pièces d'usure,
- Eventuel augmentation du volume(capacité de réserve)
- La sécurité de fiabilité et de l'environnement
- Contrôler de manière optimale la conduite de l'installation,

Un modèle qui prendrait en compte tous ces points de vue et tous ces objectifs serait universel mais très probablement impossible à utiliser car, prenant en compte trop de paramètres délicats à déterminer. Ainsi de larges simplifications pouvant être réalisées pour rendre opérationnels les modèles proposés, comme exemple :

- La prise en compte globale des caractéristiques d'un minerai telle que sa composition minéralogique ou sa densité, sa résistance, sa structure et sa texture, sa surface spécifique sa porosité, sa dureté, son taux d'humidité;

La prise en compte de la géométrie d'un crible à travers ses longueurs et largeur, de son ouverture ou de son angle d'inclinaison ;

La prise en compte des conditions opératoires d'un hydrocyclone (teneur en eau etc.)

Une fois les objectifs et donc les variables clefs déterminés, il faut trouver les relations entre les informations fournies au modèle (caractéristiques et débit du matériau, géométrie de l'appareil et conditions opératoires) et les variables que l'on souhaite déterminer (granulométrie du produit, débit consommé).

Ces relations peuvent être :

Empiriques :

Elles sont déterminées de manière statistique à la suite d'une expérimentation. Ces modèles sont relativement faciles à créer pour les applications précises particulières mais au prix d'un travail expérimental considérable. Elles ne sont pas a priori, réutilisable, car leur domaine de validité se confond avec le domaine expérimental. Leur précision dépend du volume et de la fiabilité du travail expérimental.

Macrophénoménologiques :

Elles permettent une description des phénomènes macroscopiques avec des concepts ayant une signification physique comme la distribution des temps de séjour (DTS) des particules dans un appareil ou la probabilité de passage d'une particule à travers un crible.

Microphénoménologiques :

Elles sont issues d'une volonté de représenter les phénomènes physiques et chimiques auxquels les particules du minerai sont réellement soumises. Ces phénomènes sont difficiles à mettre en équation, les propriétés des particules solides sont délicates à mesurer et à caractériser mathématiquement comme la forme, la libération minérale, l'état de surface ou les fissurations internes.

Actuellement, ce sont principalement les modèles de types macrophénoménologiques qui sont opérationnels pour la simulation et le dimensionnement des opérations de traitement des matières minérales.

Parmi les modèles existant on peut distinguer : des modèles dit ``prédictifs`` prenant en compte les dimensions, les réglages et les paramètres opérationnels de l'équipement et déterminant eux- mêmes ses performances.

Compte tenu de la variabilité de la nature de la matière première et de la demande du marché, les installations de classification souvent intimement liées aux circuits de communiton doivent faire l'objet d'une grande souplesse.

Cette souplesse est nécessaire pour :

- Suivre l'évolution de la demande en qualité et en volume.
- Prendre en compte les variations du tout venant causées par l'utilisation de nouveaux faciès ou de nouvelles carrières.
- Chercher à minimiser les coûts opératoires pour une production donnée.
- Assurer le suivi et l'amélioration de la qualité de la production.

La réalisation en grandeur réelle de tests permettant soit la mise au point de schémas de traitement, soit l'optimisation des conditions opératoires (réglage des hydrocyclones, de cribles , de pompes ; etc...) est très onéreuse, voire impossible.

I.2 SIMULATION :

Un simulateur statique est un logiciel capable de prédire le fonctionnement stable d'une usine en fonction des caractéristiques de son alimentation et de ses équipements. On appelle simulation directe la prédiction des flux de minerai et de l'eau d'une usine fonctionnant en régime stationnaire sous des conditions données ; on appelle simulation inverse, l'utilisation d'un simulateur pour déterminer des paramètres de configuration de l'usine (comme par exemple la dimension de l'appareil) dans le but d'obtenir un fonctionnement prédéterminé d'une usine.

Les principaux composants d'un simulateur sont :

- le logiciel de simulation, sensu stricto, qui permet la communiton entre l'utilisateur et le simulateur et qui coordonne les calculs.

C'est le seul composant visible par l'utilisateur, il est généralement appelé le simulateur.

La simulation statique est une approche très efficace en dimensionnement d'installation car elle permet :

- D'évaluer un grand nombre d'hypothèses pour le flowsheet, le choix des appareils etc.
- De dimensionner certains équipements de traitement et de manutention du minerai.

- D'obtenir en très peu de temps une configuration quasi-optimisée de l'installation industrielle.

Elle est aussi utilisée comme aide aux décisions industrielles dans des usines existantes. Par exemple, elle permet d'adapter le flowsheet au traitement d'un nouveau minerai, à l'évolution du marché du concentré, ou simplement de certains appareils.

Les simulateurs statiques pourraient aussi potentiellement être inclus dans des systèmes avancés de contrôle de procédé pour faciliter l'analyse en ligne et le diagnostic du procédé.

Ils devraient aussi pouvoir apporter une aide conséquente pour la formation du personnel des usines.

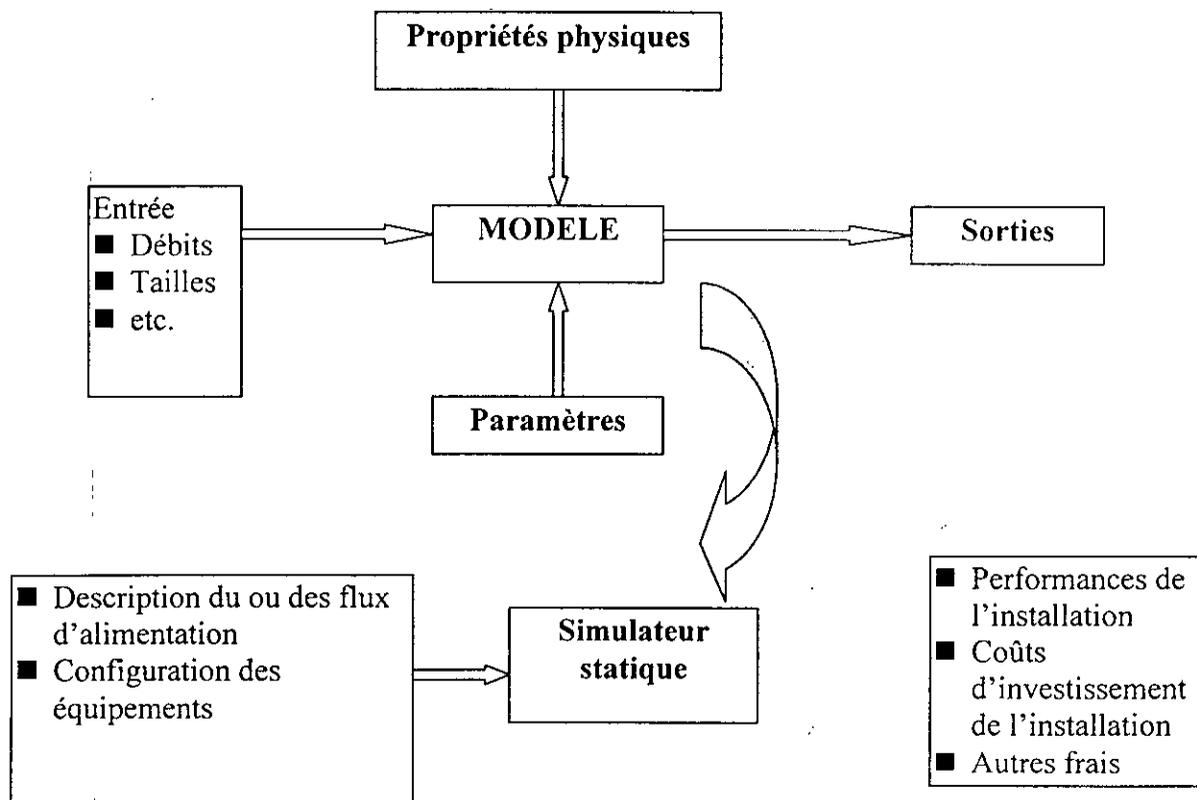


Figure I.2 : Fonctions de base d'un simulateur [Mines et carrières Déc. 1998]

II. UTILISATION

Produire des sables et des graviers à partir d'un tout venant massif ou alluvionnaire demande des installations d'une grande souplesse au niveau de la définition du schéma de traitement et des réglages des appareils.

Cette souplesse est nécessaire pour :

- Suivre l'évolution de la demande en qualité et en volume
- Prendre en compte les variations du tout venant causées par l'utilisation de nouveaux faciès ou de nouvelles carrières,
- Chercher à minimiser les coûts opératoires pour une production donnée,
- Assurer le suivi et l'amélioration de la qualité de la production.

La réalisation en grandeur réelle de tests permettant soit la mise au point de schémas de traitement, soit l'optimisation des conditions opératoires (réglage des concasseurs, des broyeurs, positionnement de volets alimentant des convoyeurs...) est très onéreuse voire impossible. [18]

L'utilisation d'un outil informatique permettant d'évaluer de nombreuses alternatives d'installations ou d'optimiser un stade existant autorise l'utilisateur à tester ses idées, et à analyser en détail les conséquences pour un coût et dans un délai sans commune mesure avec ceux des tests sur site.

II.1 UTILISATION DES MODELES- SIMULATION D'ATELIER :

II.1.1 Conception d'une installation :

Dans le cas général la simulation est utilisée pour concevoir ou optimiser non pas un appareil mais une installation. La conception d'une installation implique le dimensionnement des appareils principaux mais aussi le choix de leurs réglages, le dimensionnement des éléments de concassage, de broyage, de criblage, de transport (convoyeur), ainsi que les séparateurs et répartiteurs, qui permettent la production de différentes catégories de granulats.

La simulation permet de prédire en tout point du circuit les débits, les granulométries des flux. Cette prédiction détaillée facilite grandement le travail du concepteur, que ce soit au niveau de l'étude de faisabilité ou lors de la conception finale de l'installation, en lui permettant de tester ses idées de configuration et d'établir des dossiers détaillés :

- Pour le constructeur d'équipement, il est important de sélectionner rapidement et au mieux le matériel à proposer pour chaque application, et de pouvoir rendre les performances et le fonctionnement de l'appareil proposé dans les diverses conditions d'utilisation envisagées par son client. Dans certains cas, le constructeur souhaite proposer à son client un outil informatique pour l'aider à obtenir les meilleures performances de son matériel.
- Pour le responsable d'un projet de nouvelle installation, il est nécessaire à tous les stades d'avancement du projet d'utiliser le plus efficacement possible les résultats des expérimentations conduites pour la mise au point du procédé.
- Lors de l'expérimentation préalable, l'utilisateur souhaite esquisser les grandes lignes de la future usine et évaluer approximativement. A ce stade il est important de bâtir cet avant - projet en un petit nombre d'heures.
- Dimensionner les équipements de la future usine et déterminer parmi les variantes de flowsheets envisageables, la plus conforme aux objectifs techniques et économiques.

II.1.2 Modification d'une installation :

L'exploitation d'une installation est soumise aux changements qui peuvent intervenir au niveau :

- De la qualité du tout venant (nouvelle carrière ou nouveau faciès).
- Des produits demandés par la clientèle.
- Des conditions d'exploitation.

Ces changements induisent la modification de réglages de l'installation ou même de son schéma de traitement.

Ces préoccupations sont au premier abord assez disparates. Cependant les méthodes de calcul (algorithmes), qui peuvent assister l'utilisateur face à ces préoccupations, ont de nombreux points communs, et notamment indépendamment de données de natures semblables, débits, compositions minéralogique et chimiques.

CHAPITRE II

DEROULEMENT DES OPERATIONS

INTRODUCTION :

Une installation de production de granulats peut être figurée par un système comprenant des entrants et des sortants. Le fonctionnement de ce système est soumis à des contraintes et perturbations de différentes natures.

Une installation de production de granulats est constituée par un ensemble d'appareils de réduction volumétrique, de calibrage, de manutention, de stockage dont le fonctionnement n'est pas indépendant. En effet, ces appareils sont montés en série ou en parallèle et c'est le résultat constitué par la somme de leur contribution individuelle qui constitue le produit destiné à satisfaire les besoins du marché. [02]

Une installation court en permanence le risque de voir son fonctionnement perturbé pour de multiples raisons. Ces raisons se rapportent aussi bien à sa conception structurelle, qu'aux choix préalables effectués sur le matériel mis en œuvre. D'autres raisons existent et qui sont extérieures à l'installation proprement dites. Il s'agit par exemple des perturbations atmosphériques qui, après avoir modifier la teneur en eau du produit, perturbent l'écoulement des matériaux en trémie ou dans le concasseur et favorisent le colmatage des surfaces criblantes. Nous n'omettrons pas d'évoquer les erreurs de management qui peuvent bousculer la bonne exécution et l'ordonnancement des programmes de production. Aussi sans perdre de vue la nature des entrants (matériaux arrivants de la carrière) et la nature des sortants (matériaux devant satisfaire à la maîtrise d'œuvre) du système constitué par l'installation de production.

I. DEFINITION ET IDENTIFICATION DES ENTRANTS ET DES SORTANTS D'UNE INSTALLATION DE CARRIERE :

Il convient de ne pas oublier que toutes les démarches industrielles commencent par l'identification des besoins à satisfaire en termes de qualité et quantité.

Les quantités des matériaux destinées au génie civil sont alors définies à l'aide de spécifications se rapportant à leurs caractéristiques physico-mécaniques. Elles prennent en compte, dans la mesure du possible, les problèmes que pose l'évolution de ces matériaux sous contraintes (suivant usages) dans l'ouvrage.

Une installation de production de granulats doit fournir en général des d / D et O / D dans des quantités définies lors de l'engagement de la direction en réponses aux différents appels d'offres. Ceci veut dire que quotidiennement, des dispositions doivent être prises pour

que l'entreprise puisse fabriquer un O/ D en quantité et en granularité variables. Ces O / D constituent le principal sortant de système de production. Le principal entrant d'une carrière est constitué par les matériaux amenés de façon discontinue par des dumpers ou tombereaux ou encore de façon continue lorsque la manutention se fait par l'intermédiaire de bandes transporteuses.

Rien ne se fait en carrière sans consommation d'énergie (énergie électrique, fuel,etc...) . La consommation d'énergie en carrière peut même dans certains cas être assez importante.

Certains matériaux sont très difficiles à réduire, la figure II.1 fait apparaître quelques entrants et sortants d'une installation. Il y'a certaines flèches destinées à symboliser le retour d'information et le mode de traitement. [01]

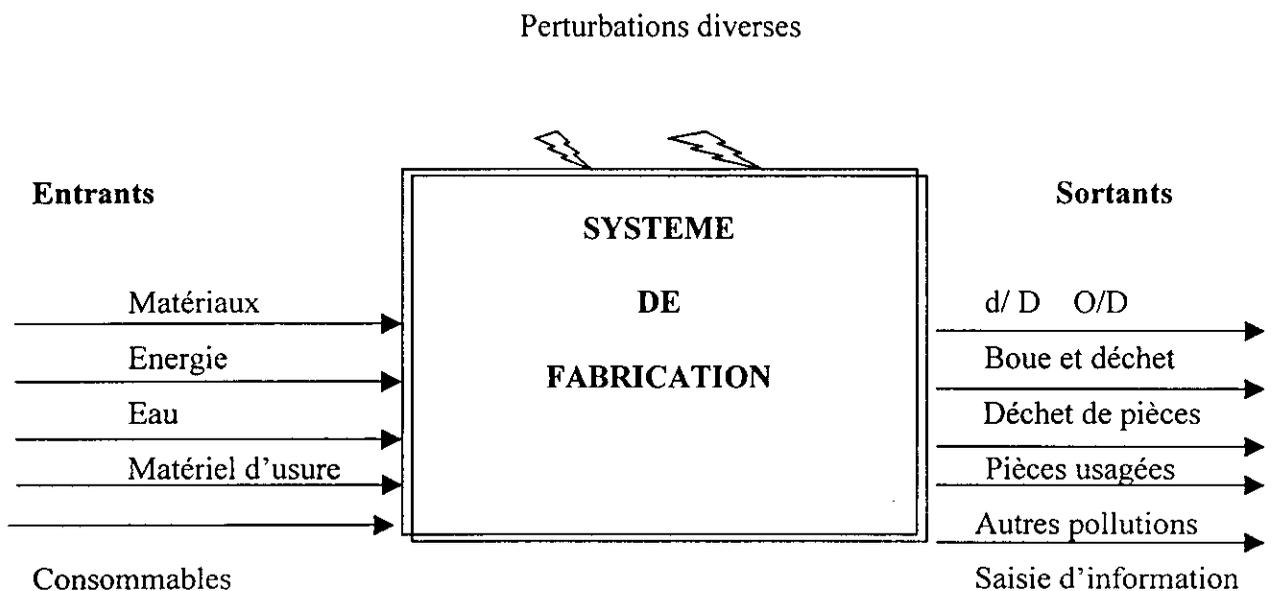


Figure II.1 : Schématisation systématique d'une installation de production de granulats.(Mines et Carrières Nov. 2000).

II. LA MODIFICATION DES EQUILIBRES DE FONCTIONNEMENT :

II. 1 Modification des entrants :

La régularité de l'approvisionnement en termes qualitatifs et quantitatifs est particulièrement importante. Le fonctionnement discontinu d'une installation est probablement la pire des choses du point de vue de l'efficacité et de la rentabilité de l'investissement effectué. Comment déterminer un point de fonctionnement permettant la bonne répartition des flux dans l'installation et la minimisation des consommations énergétiques en modifiant continuellement les caractéristiques de l'approvisionnement telles que :

- Sa résistance mécanique,
- Hétérogénéité du minerai,
- Sa granularité, son angularité, sa propreté, son altération, etc....
- Son débit. [9]

La consommation énergétique est le résultat d'un appel de puissance variable suivant les moments aux cours du fonctionnement de l'entreprise. Il dépend en effet de la nature de l'approvisionnement et également du nombre, de la nature et du type des matériels sollicités. Il dépend également du type de régulation mise en application pour prévenir des bris de matériels.

III. SCHEMA GENERAL DE TRATEMENT DE GRANULAT:

Les produits d'abattage sont chargés dans des camions qui les déversent dans la trémie de réception du poste primaire ou se fait généralement une première élimination des matériaux fins.

Cette pré-élimination permet de se débarrasser des impuretés friables accompagnant le tout venant de carrière. Ces matériaux, provenant des impuretés dues aux remplissagès ferreux ou argileux de fissures ou de zones d'altération circonscrites ,se trouvent en presque totalité dans la fraction des fines de produits d'abattage, chargés et transportés au poste primaire. Ainsi seules les parties des roches saines pénètrent dans le concasseur primaire. [16]

A la sortie du concasseur primaire, les matériaux concassés sont dirigés vers un stock primaire ou pré-stock ou stock pile, qui les homogénéise avant de les envoyer à l'usine d'élaboration. Ce stock sert aussi comme stock tampon entre l'activité du primaire et du secondaire.

L'usine de traitement comporte une ou plusieurs séries de concasseurs, appelés concasseurs primaires, secondaires ou tertiaires selon leur nombre et leur position, dans la chaîne de traitement. Ceux ci fonctionnent en circuit fermé ou ouvert, selon que les refus des cribles reviennent ou pas vers les concasseurs.

A leur sortie des cribles, ainsi classés et calibrés, les granulats sont soit entreposés dans des silos pour être vendus en continu ou sont dirigés finalement par un système de bandes transporteuses vers les aires de stockage pour la reprise et la vente.

III.1 SYSTEME DE CRIBLAGE :

III.1.1 Les pré-cribleurs :

Ils sont constitués d'un système à barres ou à rails parallèles ou de fortes passoire, montés sur bâtis lui-même solidairement posé sur un ressort, qui vibre. Les vibrations sont assurées par un système mécanique à arbre excentré ou à balourds ou les deux à la fois.

Les particules qui ont une dimension inférieure à l'écartement des barres, des rails, ou de la maille peuvent être ainsi séparées. Avant chaque concassage, il est procédé à l'élimination des matériaux qui ont déjà une dimension inférieure à celle de l'ouverture du concasseur. Ce précriblage appelé aussi scalpage poursuit plusieurs objectifs :

- Augmenter le rendement horaire du concasseur (pourquoi surcharger le concasseur avec des particules dont la taille est déjà réduite aux dimensions voulues ?).
- Eliminer les particules de roches les plus fragiles qui ont été réduites les premières en particules de petites dimensions – c'est souvent le cas des schistes, des veines de roches tendres (calcites, gypse, souvent de la terre végétale et des matériaux organiques), les broussailles qui traînent dans la carrière sont aussi éliminées.
- Limiter l'abrasion dans le concasseur, En effet contrairement à ce que l'on peut penser, ce ne sont pas les gros blocs qui usent, mais plutôt les particules fines qui jouent le rôle d'abrasif de matériaux de friction.

Le granulat éliminé lors du pré-criblage est dirigé vers un tas de terril.

Pour certains cas :

- 1- Ce stérile peut être vendu comme granulat routier (couche de remblai), ou la présence de schistes, de particules molles ou de quelques particules organiques est tolérable.
- 2- Ce stérile peut être vendu à des particuliers, qui espèrent en récupérer par simple criblage sa partie noble.
- 3- En période sèche, lorsque le tout venant de carrière provient d'une banquette et que la roche est jugée acceptable, par un système de by - pass, le stérile est réintroduit sous le concasseur dans la chaîne de traitement. [7]

III.2 CONCASSAGE :

III.2.1. Le primaire :

La fragmentation des blocs de roche peut se faire :

- Par écrasement entre deux pièces de concassage comme dans le cas des concasseurs à percussion ou à marteaux articulés.

Dans la majorité des cas, la production des agrégats au niveau du poste primaire de la station de concassage est faite par des concasseurs à mâchoires et à un degré moindre par des concasseurs giratoires.

Le Choix du type de concasseur primaire :

Il n'existe pas de concasseur idéal ; les différents types de concasseurs ont des avantages et des inconvénients, compte tenu du type de roche qui doit être traité et de l'utilisation prévue des granulats produits.

Les facteurs les plus importants qu'il faut considérer, lors du choix d'un concasseur, sont :

- La dimension des plus gros blocs d'abattage pouvant être admise dans le concasseur ;
- Le débit du concassage ;
- Le rapport de réduction recherché ;
- La dureté et le caractère abrasif de la roche à concasser ;
- La granulométrie des produits à la sortie du concasseur ;
- La répartition volumétrique des différents produits concassés ;
- La formule de produits concassés ;
- La consommation d'énergie et la puissance des moteurs du concasseur ;
- Les caractéristiques mécaniques (rusticité, facilité d'entretien, de réglage et de remplacement des pièces de rechanges) ;
- L'état du minerai (sec, mouillé, collant,...etc) ;

- La forme des agrégats produits. [17]

III.2.2 Concassage secondaire – tertiaire :

A cet étage de concassage on y installe et pour la plupart des cas, des concasseurs giratoires. Les concasseurs (ou les broyeurs) giratoires secondaires ne diffèrent des primaires que par leurs taille ; ils sont plus petits. Ce sont en général des concasseurs à cône long dit standards ou normaux.

Les concasseurs ou les broyeurs tertiaire fonctionnent toujours selon le même principe. Cependant, une attention toute spéciale a été apportée au réglage de la vitesse d'écrasement, de la vitesse de rotation de l'excentrique. Dans ce type de concasseur, le broyage doit s'effectuer en milieu dense compact et homogène et les grains doivent recevoir un grand nombre de chocs sur toutes les faces. Ces concasseurs dits à tête courte ou à tête fine ont des chambres de broyage.

III.3. TRANSPORT ET MANUTENTION :

La manutention des granulats est presque toujours faite par des appareils à bande transporteuses métalliques ou pas. Les bandes transporteuses peuvent être installées sur des supports fixes lorsqu'elles assurent le transport des granulats à l'intérieur de la chaîne de traitement et d'un poste à l'autre ; Elles peuvent être installées en saute-relles fixes ou mobiles lors de la constitution des piles de réserves. [7]

III.4 LA MISE EN RESERVE DES GRANULATS : (Stock tampon)

A la sortie des cribles, les différentes fractions granulométriques peuvent être entreposées dans les trémies ou les silos de faibles capacités. Ils assurent en général une autonomie de deux à trois heures de production. [7]

CONCLUSION :

Les installations en fonctionnement dans notre pays sont souvent des stations de petites capacités 200 T/h au moins. Parfois plusieurs stations sont regroupées dans une seule et même unité. Leurs schémas de concassage et de criblage sont des plus simples à de rare exception. [16]

Le schéma de concassage et de criblage élaboré par un bureau d'étude spécialisé, après les essais pilotes doit être :

- Adapté au gisement exploité et à la roche à traiter
- Intégré à un procédé de fabrication préétablie
- Ses équipements doivent être d'une technologie moderne et d'actualité :
 - Conduite facile, automatisme et commande à distance
 - Faciles à l'entretien
- Confié à des professionnels
- Capable de fournir des granulats qui puissent répondre à un large domaine d'application:
 - Béton hydraulique
 - Béton bitumineux
 - Routes
 - Chemin de fer
 - L'usine métallurgique

Et ce aux qualités exigées et au meilleur prix de revient.

CHAPITRE III

OPTIMISATION

INTRODUCTION :

Les développements rapides de l'informatique et des moyens de calcul ont permis des progrès importants dans la simulation des procédés de fragmentation de matières solides. L'approche de modélisation de ces procédés présente plusieurs avantages par rapport à l'approche traditionnelle consistant à optimiser l'exploitation grâce à des essais sur les installations industrielles. Elle permet également d'élaborer un outil fiable de calcul prédictif nécessaire au dimensionnement d'une nouvelle installation.

Une fois le modèle mis au point et validé au moyen de données expérimentales sa résolution permet d'obtenir des résultats en un temps beaucoup plus fiable que celui nécessité par les essais sur les installations industrielles ou pilotes. Par ailleurs le coût de simulation numérique est incomparable à celui des essais.

Enfin, l'outil de simulation assure une meilleure optimisation des caractéristiques du produit ainsi qu'une maîtrise plus rationnelle des dépenses énergétiques souvent non négligeables. En vertu de ces divers avantages, il est fort probable que les outils de simulation numérique des installations de fragmentation susciteront de la part des industriels concernés un intérêt de plus en plus marqué dans le futur.

I. OPTIMISATION ET SIMULATION NUMERIQUE DES OPERATIONS DE CONCASSAGE :

Parmi les opérations de traitement mécanique des matières solides, le concassage occupe une place importante, en particulier dans les milieux de carrières et de la valorisation des minerais. Une meilleure maîtrise de la technologie de concassage constitue ainsi un pas significatif vers l'optimisation de l'ensemble de l'installation de traitement et donc un meilleur contrôle des coûts de revient. [9]

Les approches utilisées pour modéliser le fonctionnement des concasseurs sont essentiellement de trois natures. Les premières recherches ont consisté à représenter par des formules analytiques simples la distribution en taille du produit sortant du concasseur. Cette méthode de représentation formelle ne prend pas en considération l'influence du réglage de la machine ni des propriétés du matériau sur le résultat du concassage.

La fragmentation grossière couvre l'ensemble des opérations de préconcassage, de tranchage et de concassage elle met en œuvre trois grandes classes d'appareils en fonction de la nature de la matière :

- Concasseurs à mâchoires
- Concasseurs à cône
- Concasseurs à percussion

GAMME ET DIMENSIONNEMENT DES CONCASSEURS :

1/ CONCASSEUR A MACHOIRE :

La fragmentation des blocs de roche peut se faire Par écrasement entre la mâchoire du concasseur et son compartiment. Les concasseurs sont caractérisés selon les différents constructeurs par :

Caractéristiques	Types des concasseurs à mâchoires						
	série C	Série duplex		Groupes mobiles		Simple volet	
	C63B	DU24	DU53	VB83	VB93	VB1008	VB1311
S : ouverture sortie							
T largeur de la mâchoire (mm)	75	55	60	50	50	45	45
D : Hauteur de la mâchoire (mm)	1100	1070	1700	2500	2600	2700	2827
G : Ouverture de l'entrée (mm)	630	260	400	530	620	800	1100
W : Largeur de la machoir (mm)	440	460	670	830	930	1000	1330
N : Vitesse (tr/mn)	340	450	300	350	300	230	200
δ : Densité	1,3						
K : Coefficient	0,95	0,75	0,75	0,95	0,95	0,95	0,95

[3,4,6,8,10,11,12,13]

S : 40 / 50 / 60/ 70 / 80/ 90 / 100/ 120 / 125 / 130 / 150 / 175 / 200 / 225 / 230 / 250 / 275 / 280 / 300/

$$Q = 30 * (T^2 + 2ST / D - S) * n * W * G * \delta * K \text{ (Voir annexe 03)}$$

avec Q (T/H) débit,

T (m) course au bas de la mâchoire mobile

S (m) ouverture en position serrée au bas de la mâchoire

G (m) hauteur de la chambre de concassage,

D (m) ouverture à l'entrée,

W (m) largeur des mâchoires (donc WG = section d'admission)

n (tr/min) vitesse de l'excentrique

δ densité apparente de la matière fragmenté à sa sortie de l'appareil

K coefficient moyen pouvant varier de 0,75 ou 0,95

Concasseur	Ouverture de sortie
C63B	40/ 53/ 67 / 80/ 93/ 107 / 120/
DU24	40 / 50 / 60 /
DU53	70 / 80 / 100 / 120 / 150
VB93	60 / 70 / 80 / 90/ 100/ 115 / 130
VB1008	90/ 100/ 120 / 150 / 200
VB1311	120 / 150 / 200 / 250 /280

2/CONCASSEURS A CONES :

Les concasseurs à cône sont caractérisés selon les différents constructeurs par :

[3,4,6,8,10,11,12,13]

Caractéristiques	Types des broyeurs à cônes					
	SYMONS		Giratoires BS		Série HP	
	Standard	tête courte	secondaire	tertiaire	HP 100	HP 700
Vitesse N (tr /mn)	237/ 357	320/254	250	280	1200	950
R Rayon excentrique (m)						

*Formule : $Q = 0,23 * \mu * \delta * n * D * d / \sqrt{r}$ (voir annexe 03)*

Q : Débit (T/H)

δ : Densité apparente du minerai

μ : Coefficient de foisonnement

n : Vitesse(t/mn)

D : Ouverture d'alimentation (m)

d : Ouverture de sortie (m)

r : Rayon excentrique (m)

Concasseur à cônes	Diamètre D	Diamètre d
HP 100	20	6
	30	6
	70	9
	100	13
	135	21
HP 700	33	5
	92	10
	155	13
BS secondaire BS 2-6	120	15/18/20/ 25/30

BS 3-10	200	18/ 20/ 25/30/40/50
Type de concasseur	Diamètre D	Diamètre d
BS8 -20	400	60/ 80 / 100 / 150
SYMONS		
Standard :	610	6.3/ 10 / 12.5
BCS	914	10 / 12.5 / 20
	1219	10 / 20
	1295	12.5 / 16 / 20 / 50
	1676	16 / 25 / 38
Tête courte	610	
BCS	914	3.2 / 5
	1219	3.2 / 6.3
	1295	3.2 / 6.3 / 8 / 16
	1676	5 / 6.3 / 10

Suite des concasseurs à cône

II. OPTIMISATION ET SIMULATION NUMERIQUE DES OPERATIONS DE BROYAGE :

L'éventail des opérations de broyage fin est largement plus étendu que celui des opérations de concassage. Les quantités traitées peuvent atteindre plusieurs centaines de tonnes par heure (cas de l'industrie du ciment) mais peuvent aussi descendre jusqu'à quelques grammes (cas des travaux de laboratoires). [16]

La mise au point d'un modèle de simulation du broyage a pour objectif la détermination de la granulométrie d'un produit après un certain temps de passage dans un broyeur connaissant la distribution granulométrique de ce matériau à son entrée dans l'appareil.

Un programme permet en utilisant des formules de mesurer les quantités produites à chaque niveau.

Les résultats obtenus par simulation sont suffisamment proches des résultats du constructeur pour bien évidemment des matériaux non abrasifs et sans la présence de l'eau.

Le choix des concasseurs primaires est généralement basé sur la dimension de l'alimentation plutôt que sur la capacité de dimension des roches qui seraient capables de passer à travers le godet des pelles excavatrices.

III. OPTIMISATION ET SIMULATION NUMERIQUE DES OPERATIONS DE CRIBLAGE :

La capacité de production des appareils de criblage est extrêmement difficile à prévoir car elle est dépendante d'une vingtaine de facteurs, que l'on peut classer en quatre catégories :

- a) **Facteurs propres à la surface de criblage** : dimension et forme des ouvertures, profil de la section de passage, inclinaison, pourcentage des vides.
- b) **Facteurs propres au mouvement de crible** : la fréquence du mouvement, amplitude, forme de la courbe de partage, coefficient d'accélération, angle de projection. Ces facteurs permettent de déterminer le coefficient de criblage K_v .
- c) **Facteurs propres au produit à cribler** : granulométrie, coefficient de forme, pourcentage de grains difficiles, teneur en humidité libre, teneur en élément colloïdaux (aptitude au colmatage).
- d) **Facteurs propres aux conditions d'exploitation de crible** : nombre d'étages superposés, rythme d'alimentation (sous alimenté, normalement alimenté ou suralimenté), régularité du débit, coefficient d'entretien, coefficient de sélectivité recherché. [20]

De nombreuses méthodes de calcul ont été proposées et comme il fallait s'y attendre, elles peuvent conduire à des prévisions extraordinairement divergentes.

Le criblage mécanique repose sur les chances de passage du grain à travers la surface criblante. Ces chances sont fonction de la trajectoire des grains de (vitesse, direction), de la forme et de l'épaisseur de l'orifice, de nombre d'orifice successifs que peut rencontrer un grain donné.

Les grains nettement plus petits que l'orifice passent sans difficulté. Par contre, les grains dont la dimension tend de plus en plus vers celle de l'orifice ont de moins de chance de passer.

Pour autant qu'il soit possible d'établir un système des diverses données numériques qui ont été fournies par les expérimentateurs, la méthode doit permettre d'obtenir des grandeurs valables. Nous disons bien des ordres de grandeurs, à 20 ou 25% près et non des résultats précis car malgré la complication de la formule, il n'a pas été possible d'y intégrer tous les paramètres qui peuvent influencer sur le résultat.

GAMME ET DIMENSIONNEMENT DES CRIBLES :

Caractéristiques	Types de cribles						
	crible vibrant à balourd		simple balourd	double balourd	Ellivar	c v double balourd	symons
	cvb1020	cvb1330	CSB1528	sdb18.44	ellivar20	CVDB1850	crible V
Largeur I (mm)	1000	1300	1500	1800	2630	1800	alimentateur
Longueur L (mm)	2000	3000	2000	3000	7600	5000	
Ecartement IB (mm)	209	286	175	175	165	165	
Coefficient de chargement c <1							
Coefficient d'efficacité E							
Vitesse (tr/mn)	900	800	800	850	900	800	450
Nombre d'étage possible	II III IV	II III IV	I	I	II III	II III	
débit max de l'alimentation Q T/h			350	500			
Ouverture de la maille Oc (mm)							

Fiche technique des constructeurs [3,4,6,8,10,11,12,13]

d : peut aller jusqu'au 1845mm

$$P = 1 - (Oc - d) / (Oc + IB) \quad \text{Si } d < Oc$$

P : la probabilité qu'une particule ne passe pas par une maille de crible parce que la probabilité pour que cette particule passe égale à $Oc - d / Oc + IB$

Oc : Ouverture de la grille

IB : largeur des barreaux

d : taille de la particule

I : largeur du crible

La probabilité pour qu'une particule ne passe pas après N rebonds est donc :

$$PN = P^N = [1 - (Oc - d) / (Oc + IB)]^N, \quad (\text{Voir annexe 03})$$

N : Nombre moyen de rebonds d'une particule sur le crible est calculé par la fonction empirique suivante :

$$N = E * L / [I / I + (C * Q / I * Oc)^2] \quad \text{rebond / heure}$$

avec :

L : longueur de crible

I : largeur de crible

Q : débit volumétrique de l'alimentation

E : paramètre d'efficacité

C : coefficient de chargement

Débit de crible $Q_{passant} = (1 - P^N) * Q_{alimentation} et Q_{refus} = Q_{aliment} - Q_{passant}$

Oc : 0.080 / 0.100 / 0.125 / 0.200 / 0.250 / 0.315 / 0.40 / 0.50 / 0.63 / 0.80 / 1.00 / 1.25 / 1.60 / 2.00 / 2.50 / 3.15 / 4.00 / 5.00 / 6.30 / 8 / 10 / 12.5 / 16 / 20 / 25 / 31.5 / 40 / 50 / 63 / 80 .

IV. OPTIMISATION ET SIMULATION NUMERIQUE DE TRANSPORT ET MANUTENTION :

Les différents composants du circuit de manutention d'une installation de préparation ou de classification doivent être choisis, dimensionnés et implantés avec beaucoup de soins

Le Choix de la largeur de la bande transporteuse :

Il existe des abaques pour le choix de la largeur d'un transporteur en fonction de débit envisagé et la dimension des blocs ou des grains. [18]

1/ Calcul du coefficient K T / V ou :

T : Le tonnage horaire ;

V : La vitesse en mètre par seconde ;

K : Coefficient pris comme suit :

Courroies auge de 15° à 35° Matériaux rigides.....	1
Courroies en auge de 15° à 35° Matériaux fluides	0,8
Courroies plates , Matériaux rigides.....	0,6
Courroies plates, Matériaux fluides.....	0,4

CHAPITRE IV

ANALYSES DES RESULTATS DE SIMULATION

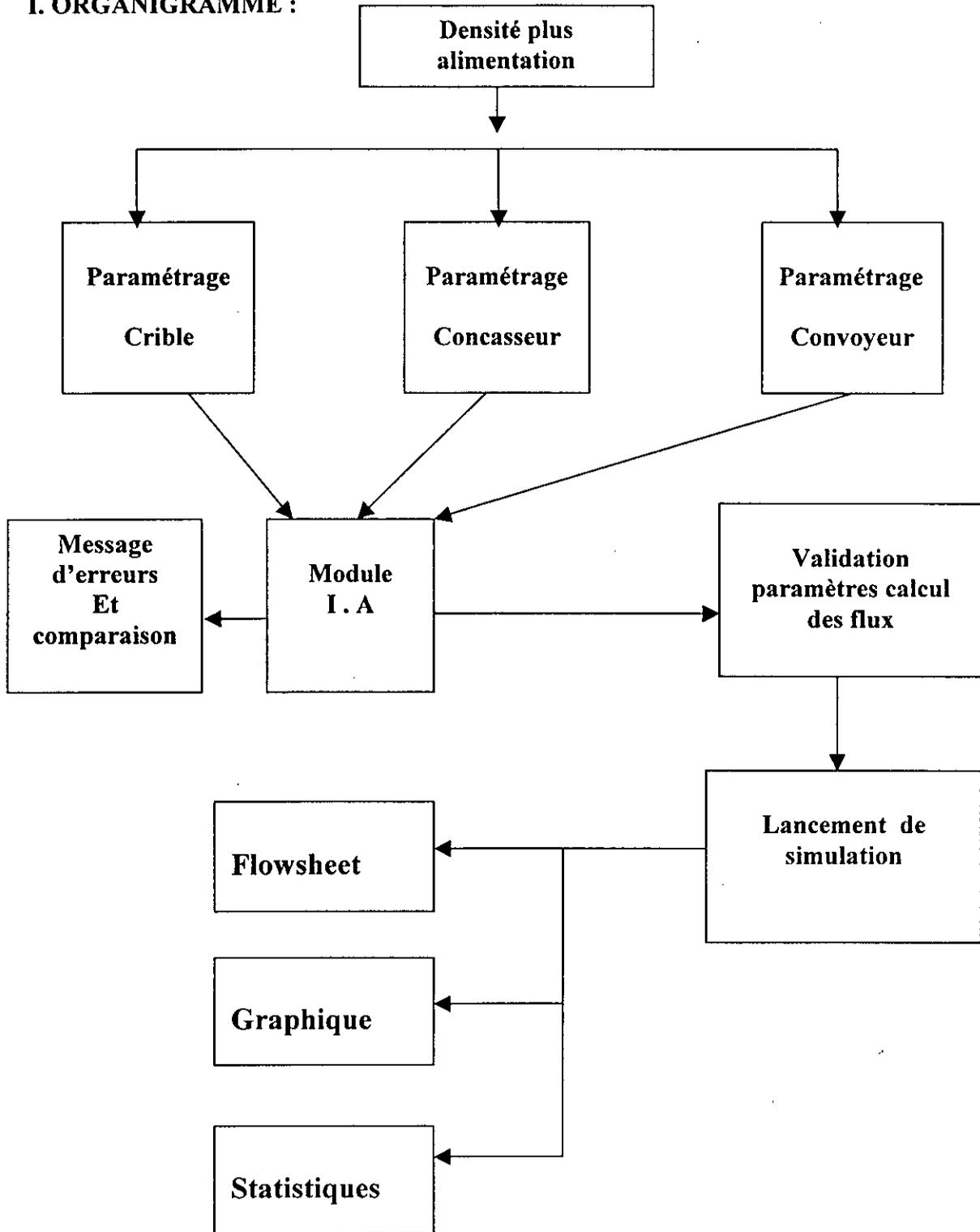
INTRODUCTION :

L'étude des équipements (caractéristiques techniques : puissance, capacité, vitesse dimensionnement,...) de concassage, criblage, broyage ainsi que le matériel de manutention existant sur le marché international , nous a conduit à développer un simulateur d'usine de traitement de la matière minérale appelé SIOP (Simulator of Installation of Ore Processing).

Nous avons conçu le SIOP sous un environnement de programmation visuel orienté objet DELPHI 5.0 afin de pouvoir l'utiliser sous le système d'exploitation le plus répandu au monde Windows 95/98/NT.

Le logiciel SIOP répond aux attentes des utilisateurs pour le traitement des données et grâce au module d'intelligence artificiel, le SIOP guide l'utilisateur dans les différentes phases de configuration des machines, il intègre aussi une grande capacité de simulation (flowsheet , calcul des flux pour les différents niveaux et graphes des flux en entrée /sortie).

I. ORGANIGRAMME :



II. DESCRIPTION DU SIMULATEUR

SIOP permet le calcul et les réglages optimaux d'une installation de fabrication de granulat quelconque (non abrasif, sans eau) au moyen d'outils graphiques.

Les multiples interfaces du simulateur sont intuitives et facile à utiliser ; Afin de pouvoir lancer la simulation l'utilisateur doit préalablement configurer toutes les machines de l'usine.

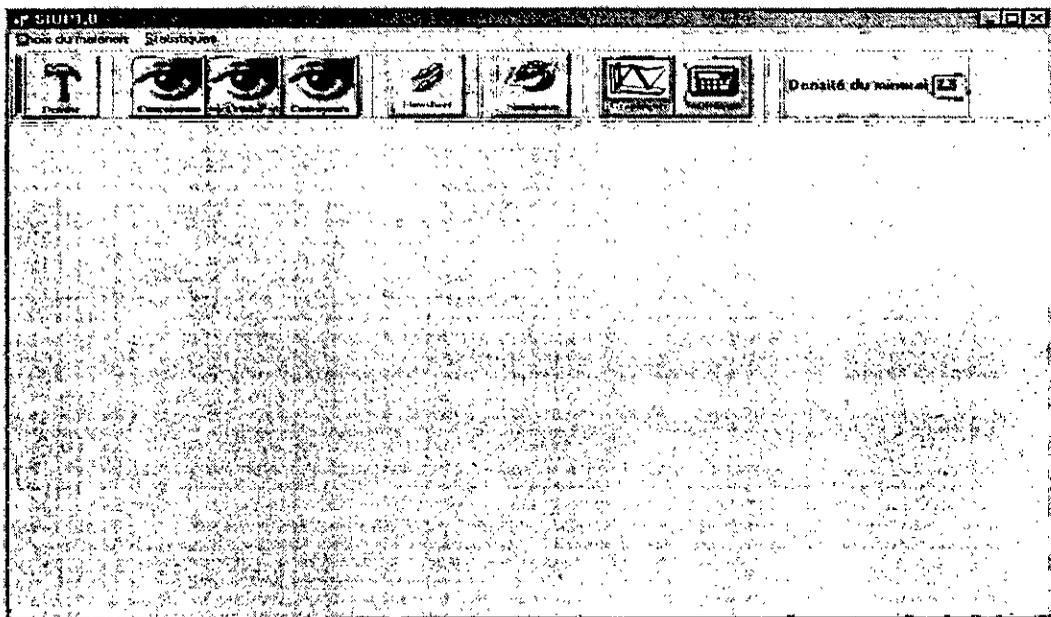


Figure1 : Interface principale

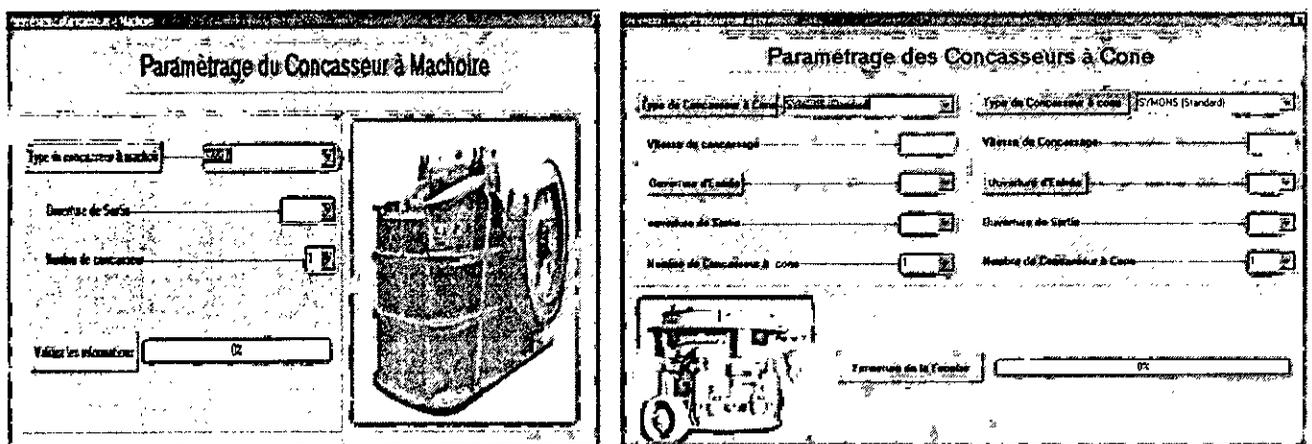


Figure 2 : Paramétrage des équipements

Cette simulation décrit les différentes phases de criblage, concassage, broyage de l'usine de traitement.

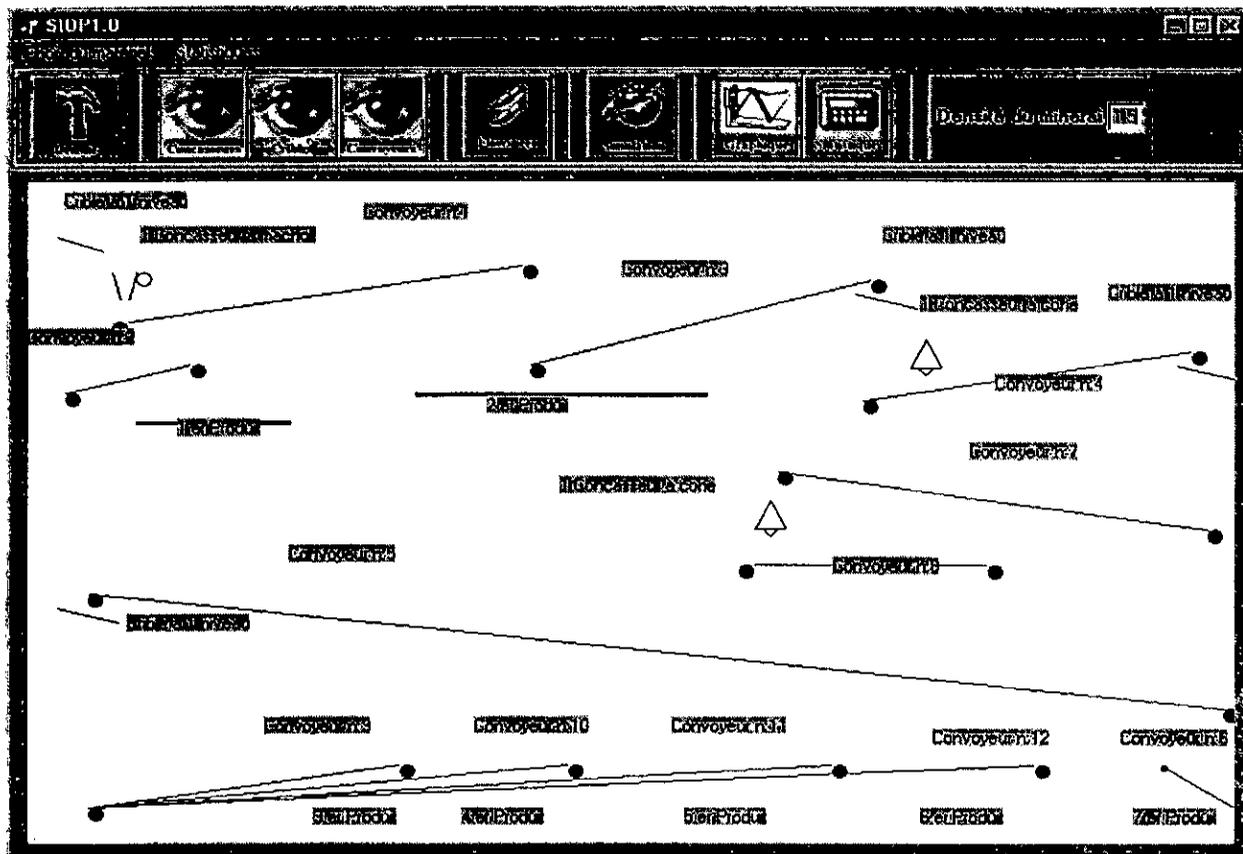


Figure 3 : Flowsheet d'une usine de granulat

Notre installation est constituée de :

- Un premier stade de scalpage ou criblage préliminaire
- Un deuxième stade de concassage primaire (concassage à mâchoire)
- Un troisième stade concassage secondaire (concassage à cône)
- Un quatrième stade de concassage tertiaire (concassage à cône)
- Un cinquième stade de criblage

Simulation par graphe :

L'interface graphes des flux donne le flux en entré et en sortie de la machine.

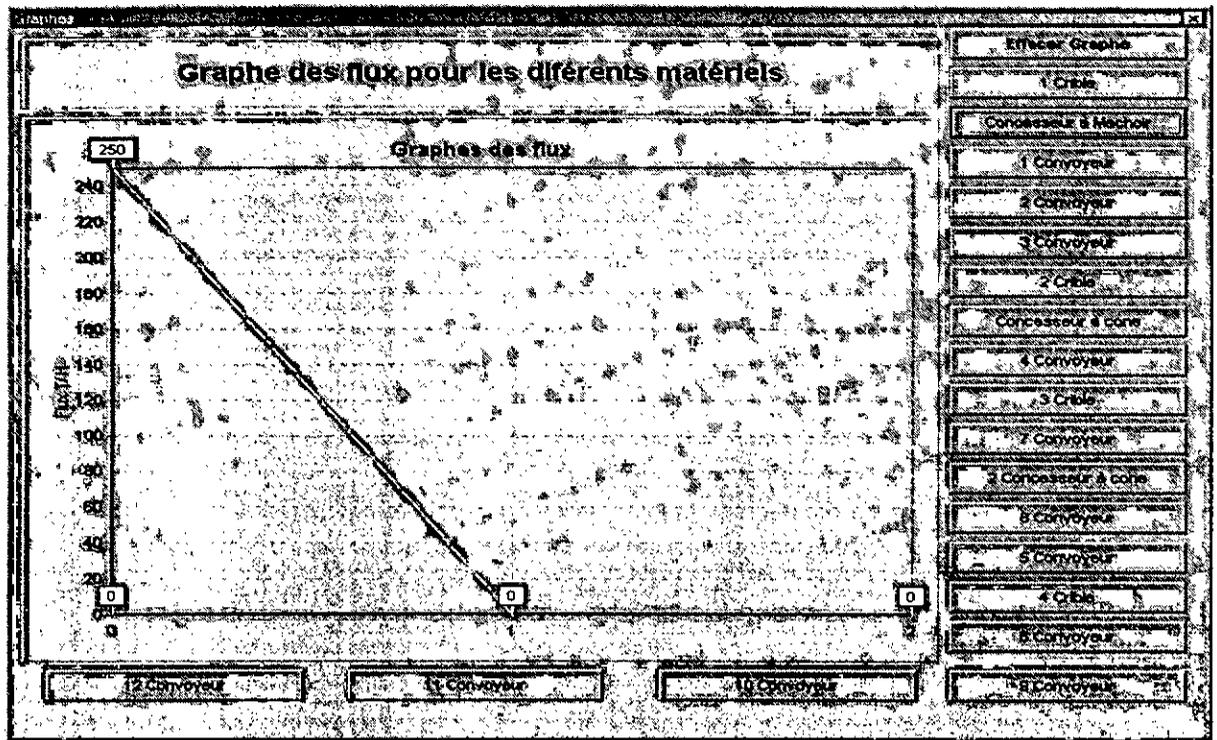


Figure 4 : Interface des graphes

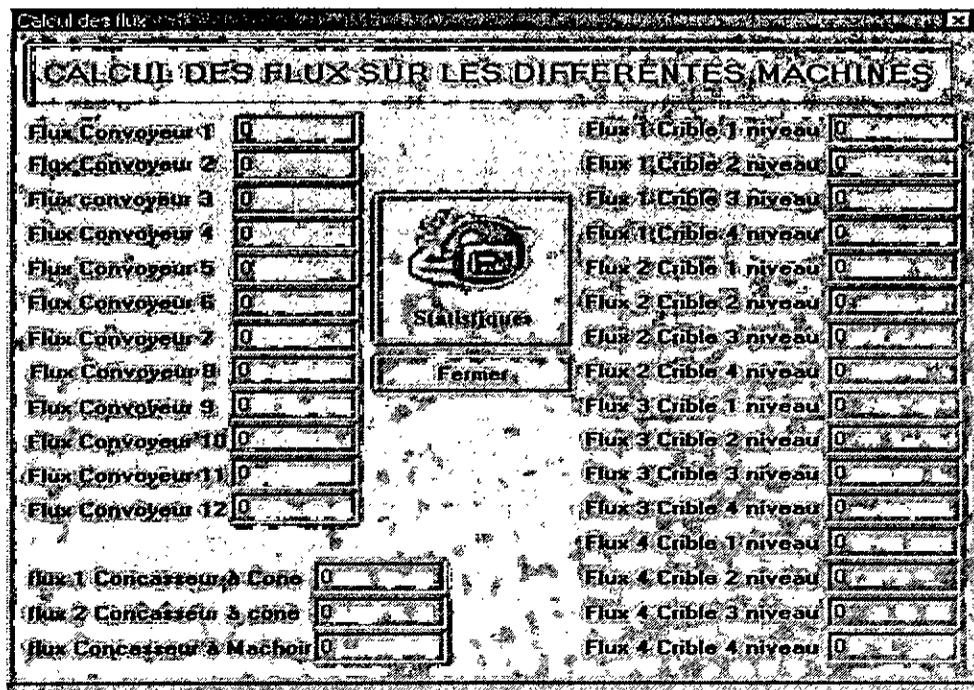


Figure 5 : Interface de calcul des flux

Le simulateur se base sur les configurations des machines apportées par l'utilisateur ainsi que le flowsheet de l'usine pour le calcul des flux en sortie de chaque équipement.

III. ANALYSE DES RESULTATS DE SIMULATION :

Que ce soit pour concevoir ou pour optimiser des circuits de classifications ou des appareils de classification intégrés à d'autres procédés, la simulation apparaît aujourd'hui très rapide et, utilisée par des spécialistes des procédés, elle est extrêmement fiable.

Elle apporte une aide incontestable dans la réalisation de projet, permettant d'envisager des hypothèses variées quant à la qualité aux types d'appareils et de circuit utilisé. Elle permet une modification rapide des installations pour s'adapter aux variations du marché.

Dans l'analyse des procédés existants, la simulation permet d'identifier les points défailants ou optimisables ; elle permet d'interpréter plus facilement les résultats obtenus. Associé à un algorithme de réconciliation de données, elle favorise la connaissance du circuit, les consommations de réactifs et les rendements précis de chaque atelier.

La conception d'installation de traitement de matière minérale assistée par simulateur n'est pas un calcul automatique qui détermine directement le meilleur flowsheet et les meilleures dimensions et réglages pour le circuit. Le simulateur aide considérablement l'utilisateur à valider ses propres hypothèses et lui fournit toutes les informations nécessaires à la prise de décision sous des formes variées (tableaux, graphes, calcul, économiques, etc.) Il permet ainsi d'étudier de nombreuses variantes de procéder et de sélectionner, avec des éléments quantitatifs complets le meilleur choix possible à ce stade de développement du projet.

A signaler que les changements provoqués par l'arrivée des simulateurs dans l'industrie de traitement des matières minérales sont très profonds.

Conclusion

Ce logiciel a été validé sur un flowsheet réel appliqué par l'Entreprise Nationale des Granulats. Il a donné des résultats proches de la réalité. Toute fois il y'a lieu de signaler que s'il a une légère différence, elle réside essentiellement dans les formules qui demeurent empiriques.

CONCLUSION

CONCLUSION

Toutes les activités industrielles peuvent être représentées par des algorithmes, c'est à dire par une suite finie séquentielle des règles appliquées à un nombre fini de données. Les algorithmes permettent de résoudre des classes de problèmes semblables en appliquant des règles opératoires définies et en utilisant un traitement informatique, destiné à faciliter la réalisation de calculs. Il s'agit en fait de la mise en pratique de modèles théoriques, lorsque les lois de la physique peuvent décrire le phénomène dans une étude ou de modèles d'expérience obtenues après avoir qualifié le comportement du phénomène dans son environnement à l'aide de mesures adaptées. La simulation moderne réalise la synthèse de plusieurs moyens de modélisation.

De par la diversité des phénomènes qu'elle reproduit, la simulation est devenue un secteur en plein développement qui peut être subdivisé en de nombreuses branches.

Nous avons noté :

- La simulation d'étude qui permet d'évaluer les performances d'un système en cours de conception. Comment prévoir très facilement les incidences financières et techniques des différentes options dans un bureau d'ingénierie ? L'utilisation de simulation (appareil support des algorithmes de simulation) avec des coûts minimaux d'utilisation permet alors de déceler les incompatibilités d'usage pouvant exister entre divers équipements..
- La simulation d'entraînement qui inclut l'aide à la décision dans le cadre d'une situation complexe (difficultés de hiérarchiser des choix dans la conduite d'un processus complexe).

Dans ce cas, elle permet d'anticiper sur des problèmes pouvant se produire : cas d'instabilité de fonctionnement. Elle permet enfin, suivant les critères à optimiser, de minimiser des coûts énergétiques, des consommations diverses et donc de faire des économies.

Ils permettent éventuellement de valider certaines dispositions dans des situations extrêmes sans danger pour les opérateurs.

- La simulation scientifique en temps réel qui permet d'étudier le déroulement de processus difficile à observer du fait de leur distance, de leur taille, de leur complexité. etc...

L'optimisation des fabrications dans une installation de carrière ne semble pas une mince affaire pour plusieurs raisons :

- Les caractéristiques des produits obtenus après chacune des transformations (concassage, criblage, stockage, manutention) ne sont toujours pas prévisibles avec une grande exactitude. De nombreux facteurs concernant le matériau lui-même ou les machines utilisées influent, en effet, sur le déroulement et le résultat des opérations effectuées.
- Les dispositions à prendre en termes de conduites de processus sont autant plus difficiles à définir que le pilote d'une installation doit tenir compte d'un "effet retard" Il peut se passer plusieurs minutes entre le moment où il agit sur une commande et où les effets de cette commande se font sentir.

Pourtant cette optimisation est indispensable au regard de l'importance des investissements nécessaires à l'ouverture d'une carrière et des enjeux techniques et socio-économiques concernés.

C'est pour cette raison que l'utilisation de simulateurs se développe en mettant à profit la convivialité de certains "environnements informatiques" et les possibilités offertes par le traitement d'image dont l'utilisation en usines de fabrication ne peut qu'augmenter.

Ce présent travail a permis d'aborder le phénomène de la fragmentation ; Cette étude a été envisagée sous un aspect théorique qui en fait permettait la vérification d'un modèle de simulation d'un circuit de traitement, modèle construit à l'aide des résultats obtenus à partir des catalogues de constructeurs.

ANNEXE I

Pour visualiser le Simulateur SIOP, Prière de procéder à l'installation du logiciel de traitement. Voir CD joint.

ANNEXE II

I. FONCTIONNEMENT DU LOGICIEL

SIOP a besoin de plusieurs fichiers pour travailler. Tous ces fichiers se trouvant dans l'environnement DELPHI . 5. Ces fichiers sont automatiquement lancés lors de lancement de logiciel.

II. BARRE VUE :

Pour faciliter le passage entre les différents affichages SIOP dispose d'une barre appelée "Barre Affichage", qui permet de visualiser d'activer les principaux affichages. Cette Barre horizontale se trouve en haut de l'écran. Voir figure 1.

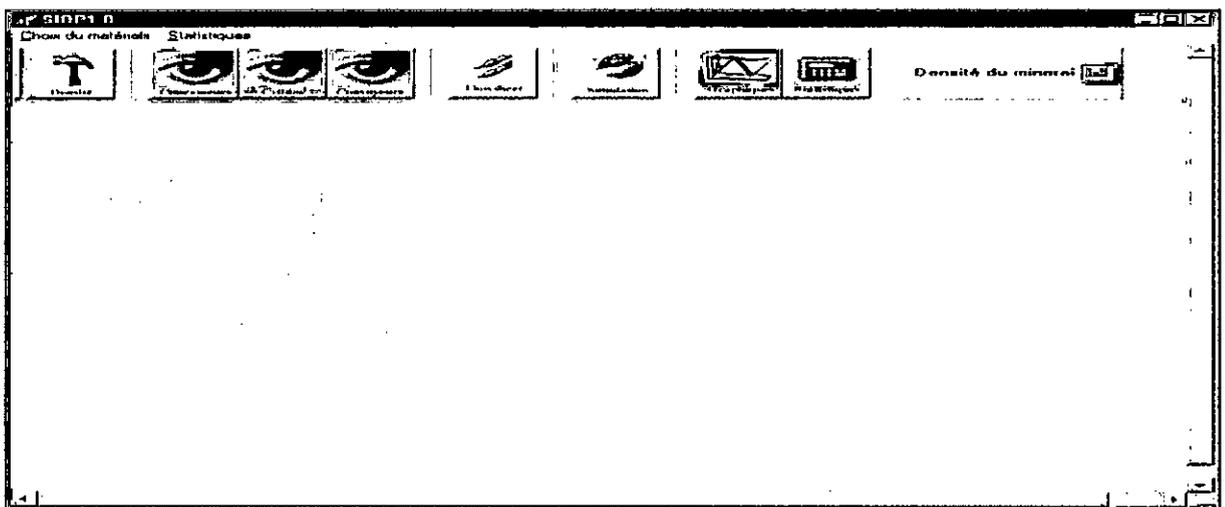


Figure1 : Barre d'Affichage.

III. MODE D'EMPLOI :

Le démarrage de travail avec le logiciel SIOP est réalisé grâce au bouton (onglet) densité de la barre d'affichage pour faire rentrer la première information concernant le minerai dans la zone d'édition "densité".

Note Importante:

« Donner la densité du minerai est une étape fondamentale qui conditionne le fonctionnement du logiciel ».

Les onglets concasseur, crible et convoyeur sont systématiquement activées et ceux pour pouvoir dimensionner le différent matériel nécessaire pour l'installation.

Le dimensionnement des appareils se fait comme suit :

On sélectionne la composante concasseur du menu choix du matériel puis l'onglet concasseur à mâchoire ou à cônes.

« La même opération peut se faire directement en cliquant sur l'onglet concasseur de la barre d'affichage. »

1) Les Concasseurs :

SIOP nous donne la possibilité de travailler avec deux types de concasseurs : voir figure 2

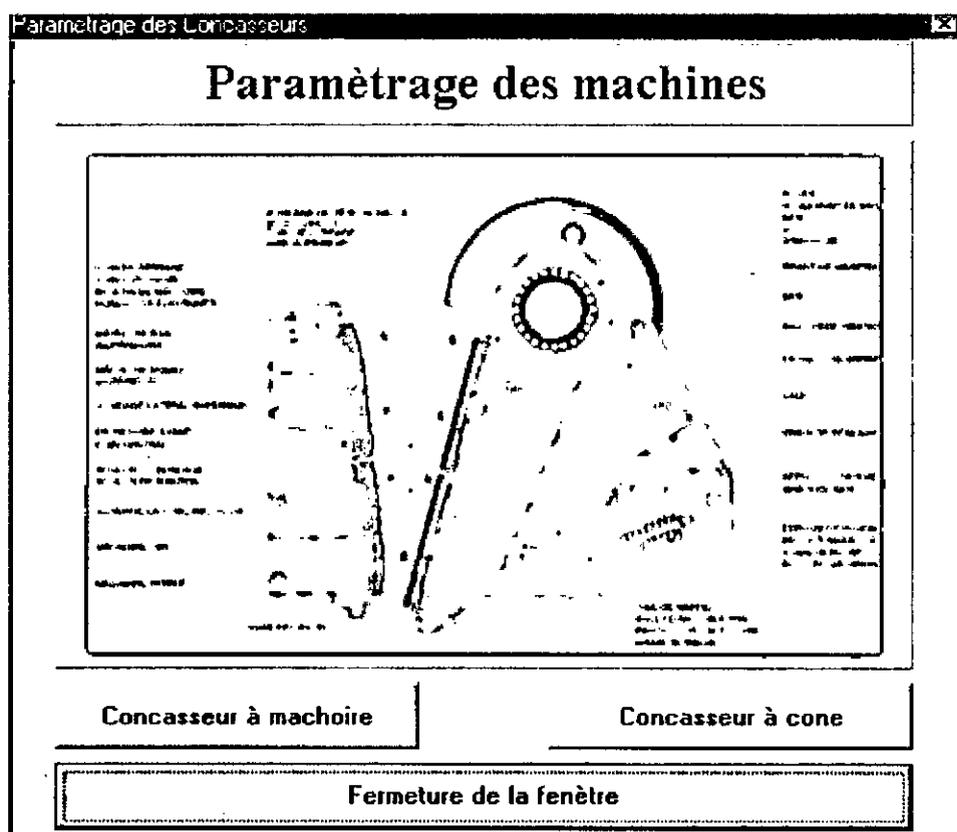


Figure2 : Interface du choix de concasseur

1.1) Concasseurs à Mâchoires :

- **Paramétrage des concasseurs à mâchoires :** Voir figure 3

- Choisissez concasseur à mâchoire en cliquant sur l'onglet, puis dimensionner le concasseur comme suit :

L'interface de ce concasseur est caractérisée par : le type de concasseur est repéré par une liste déroulante qui nous permet d'accéder rapidement aux différents types de concasseur existant selon plusieurs constructeur(Voir figure 4).

- Cliquer sur l'onglet de la liste déroulante pour pouvoir choisir un concasseur
 - Valider avec le bouton type de concasseur
 - Choisissez l'ouverture de sortie du concasseur dans la liste déroulante existante.
 - Choisissez le nombre de concasseurs nécessaires.
 - Validez les informations.

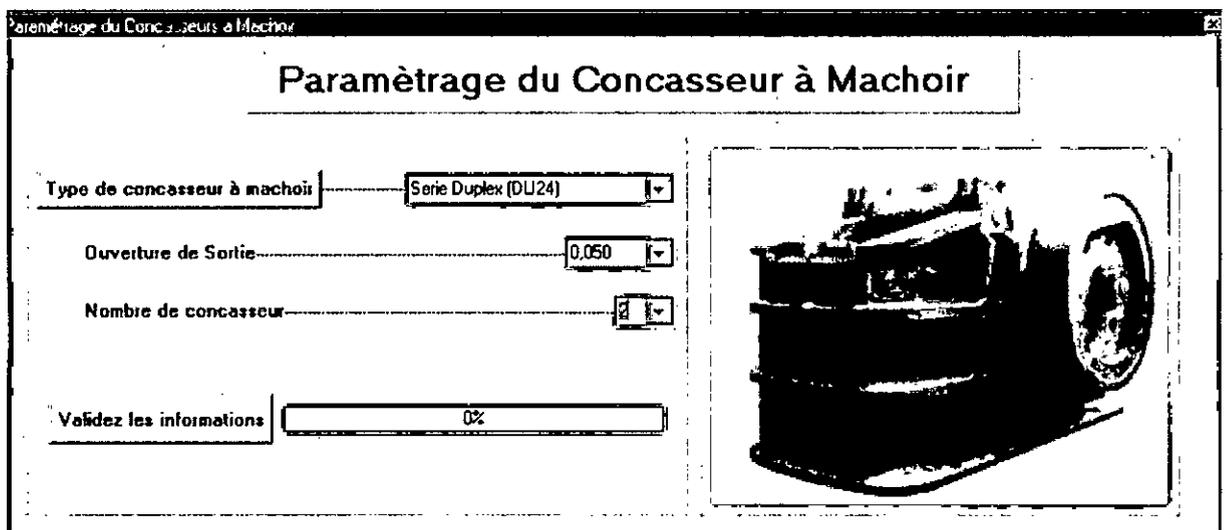


Figure3 : Paramétrage de concasseur à mâchoires

Type de concasseur à machoir

Ouverture de Sortie

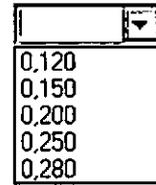
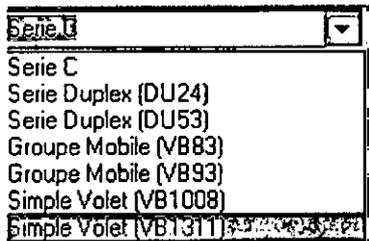


Figure4 : Listes déroulantes.

I.2) Concasseur à cônes :

- Paramétrage des concasseurs à cônes : (voir figure5)

Choisissez le concasseur à cône en cliquant sur l'onglet voir figure 2.

Pour le dimensionnement des concasseurs à cônes il faut déterminer les paramètres suivants :

- Vitesse du concassage par remplissage direct de la zone d'onglet.
- Ouverture de sortie dans la liste déroulante puis, valider pour pouvoir accéder à la liste déroulante des ouvertures d'entrées.
- Ouverture d'entrée dans la liste déroulante
- Nombre de concasseurs à cônes
- Validez les informations.

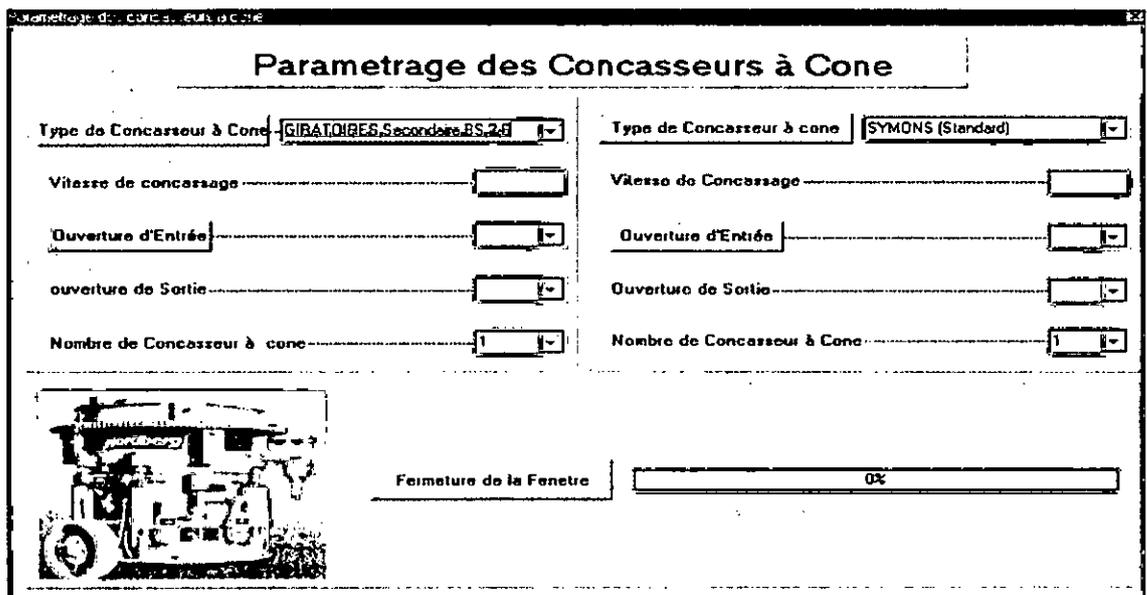


Figure 5 : Paramétrage des concasseurs à cônes.

II. Les Cribles :

Dimensionnement des cribles :

Le paramétrage des cribles se fait comme suit :

- Comme nous l'avons vu précédemment le choix du nombre d'étage se fait à partir de la liste déroulante qui donne une liste varié entre un étage et quatre étages, vous validez en suite pour pouvoir activer les restes des icônes
- Les cribles sont soit sous les concasseurs à mâchoires soit sous les concasseurs à cônes à chaque niveau de classification selon les besoins. Les cribles peuvent être à un étage, deux étages, trois étages, et même quatre étages.
- La succession de l'ouverture doit être décroissante si non un message d'erreur s'affiche.
- pourcentage de criblage qui définit la quantité de minerai qui passe à travers la maille
- nombre de crible

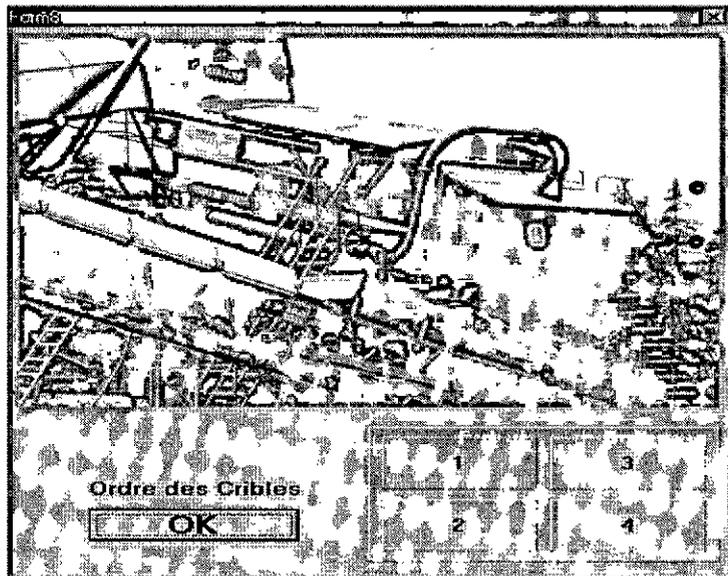


Figure 6 : Ordre des cribles.

Figure 7 : Paramétrage des cribles.

IV. Dimensionnement des convoyeurs : voir figure 9

Le paramétrage des convoyeurs se fait comme suit :

- Choisissez le coefficient k dans la liste déroulante ;
- Saisissez la vitesse du convoyeur dans la zone d'édition ;
- Saisissez la longueur du convoyeur ;
- Validez les informations avec le bouton de validation.

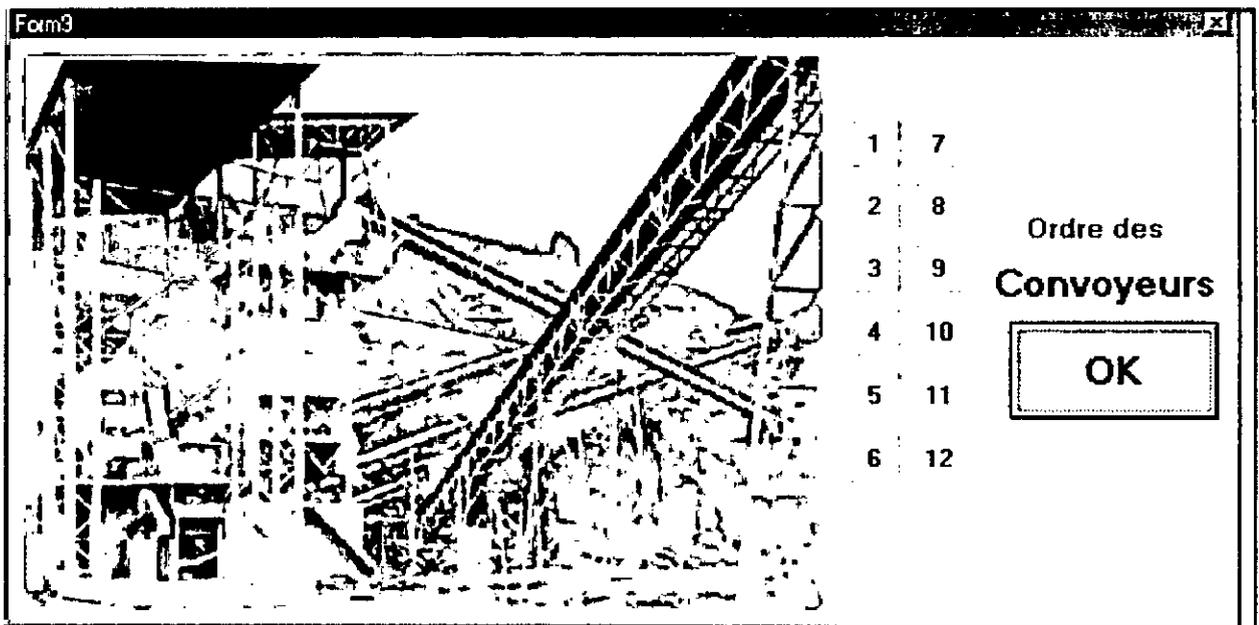


Figure 8 : Ordre des convoyeurs

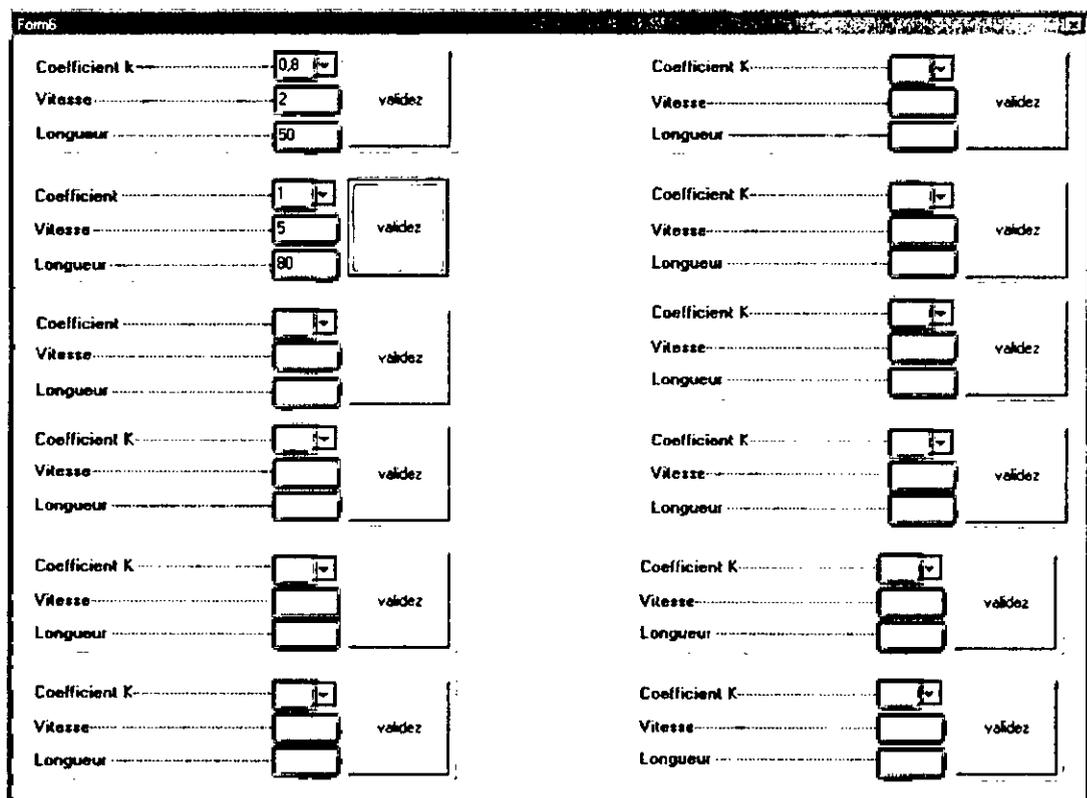


Figure 9: Paramétrage des convoyeurs

V. Flowsheet :

SIOP nous permet de représenter le schéma de notre installation, cette représentation est accessible via l'onglet flowsheet de la barre d'affichage, le schéma affiché respecte les différents paramètres choisis précédemment. (Voir figure 10)

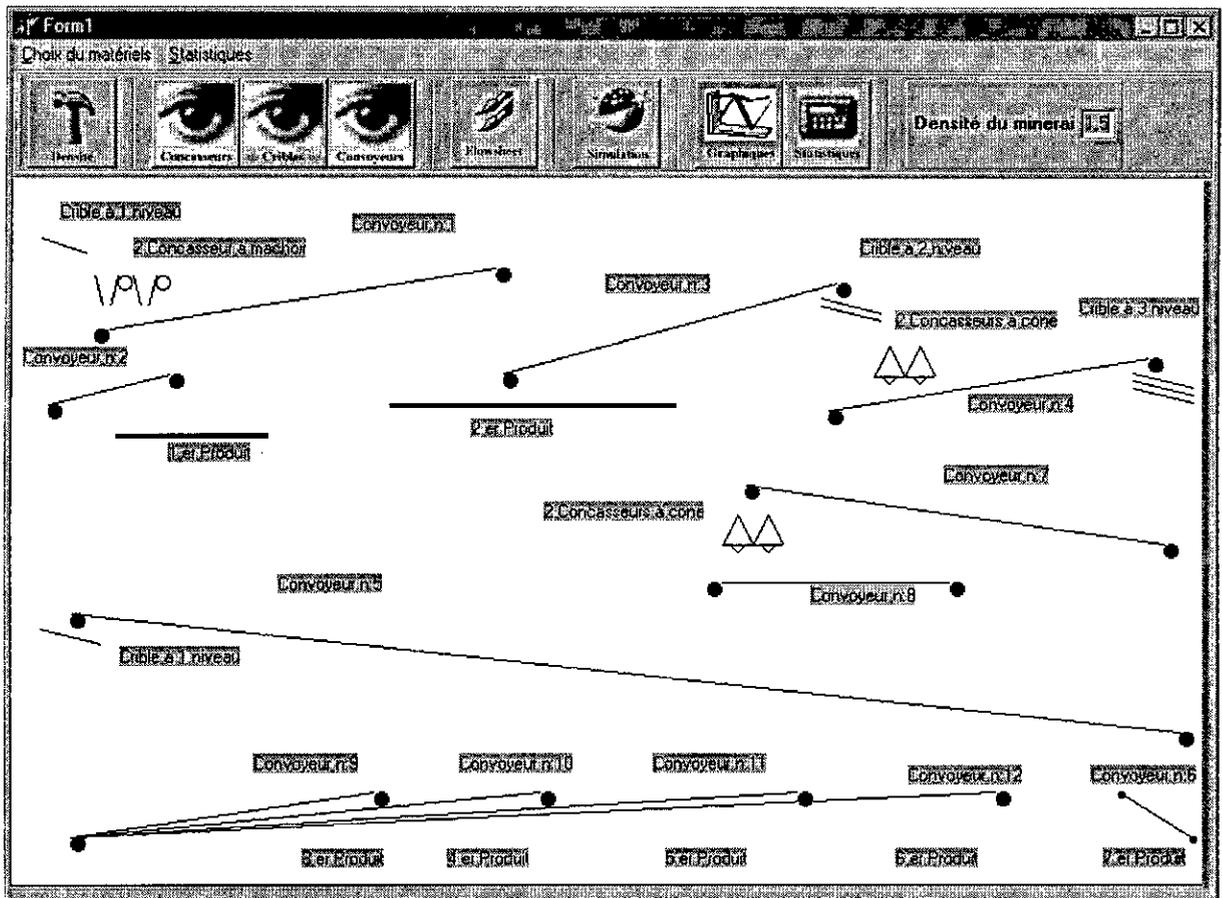


Figure 10 : Flowsheet

VI. Simulation :

Ce module nous permet de visualiser réellement le chemin parcouru par le minerai pendant sa préparation mécanique ou sa fragmentation. Voir figure 11

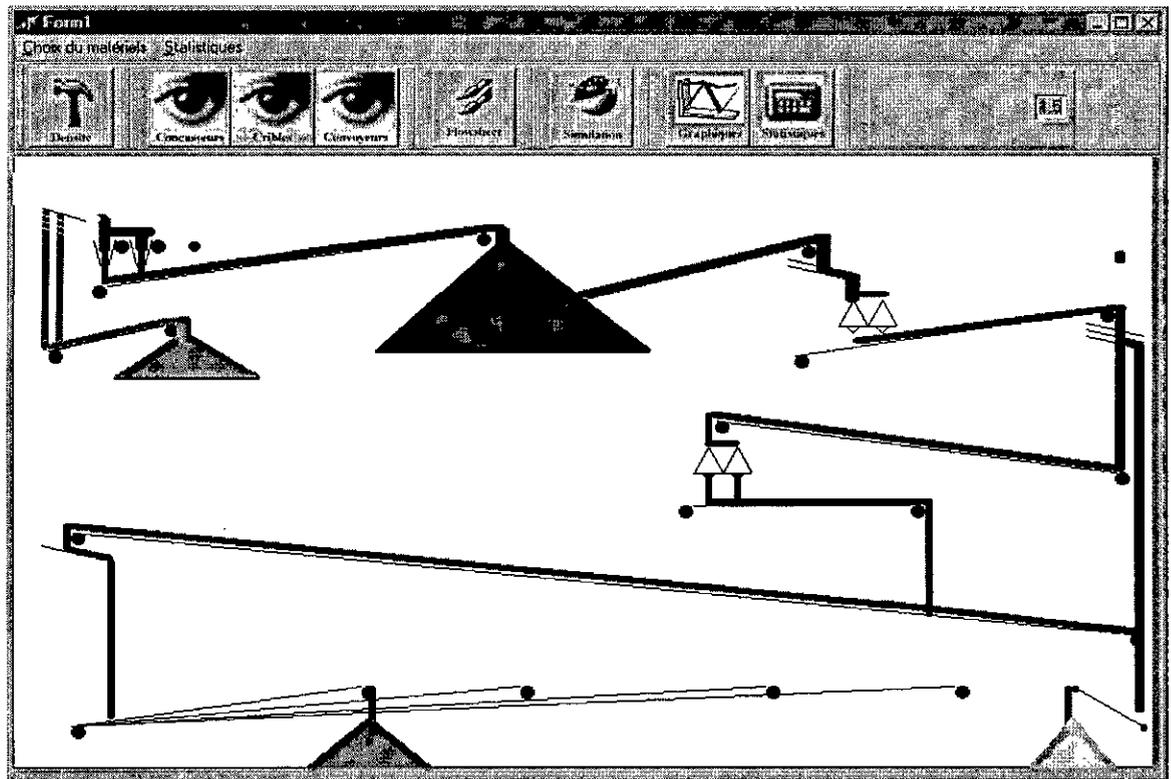


Figure 11 : Simulation

VII. Graphes :

SIOP nous offre la possibilité de contrôler les débits entrants et sortants de chaque matériel, pour accéder à cette fonction l'utilisateur doit cliquer sur le bouton graphe de la barre d'affichage.(voir figure 12).

En cliquant sur les différents boutons des différents matériels on obtient les graphes de la variation des flux de chaque équipement.

Le bouton effacer les graphes nous permet d'effacer tout ce qui a été dessiné.

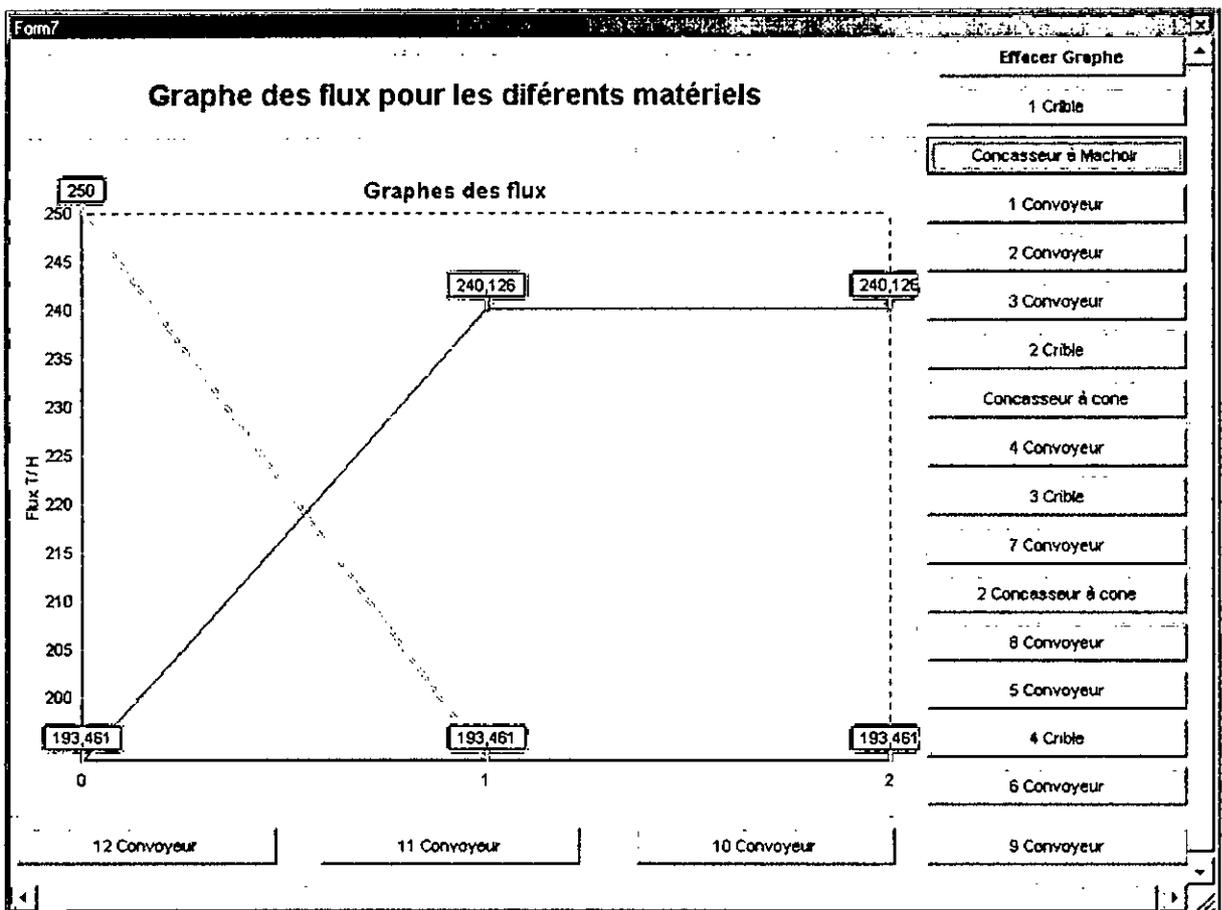


Figure 11 : Graphes des flux.

VII. Statistiques :

Ce module résume les différents calculs effectués à chaque niveau et pour chaque équipement et cela suivant les paramétrages choisis en cliquant sur l'onglet statistique.

L'onglet fermeture nous permet de sortir de cette interface voir figure 12

Le bouton statistique nous permet d'afficher le rapport des flux des différents équipements dimensionnés auparavant.

Calcul des flux

CALCUL DES FLUX SUR LES DIFFERENTES MACHINES

Flux Convoyeur 1	0	 Statistiques	Flux 1 Crible 1 niveau	193,4613826
Flux Convoyeur 2	0		Flux 1 Crible 2 niveau	0
Flux convoyeur 3	0		Flux 1 Crible 3 niveau	0
Flux Convoyeur 4	0		Flux 1 Crible 4 niveau	0
Flux Convoyeur 5	0		Flux 2 Crible 1 niveau	153,6891815
Flux Convoyeur 6	0		Flux 2 Crible 2 niveau	174,8361735
Flux Convoyeur 7	0		Flux 2 Crible 3 niveau	0
Flux Convoyeur 8	0		Flux 2 Crible 4 niveau	0
Flux Convoyeur 9	0		Flux 3 Crible 1 niveau	160,0567681
Flux Convoyeur 10	0		Flux 3 Crible 2 niveau	80,33360998
Flux Convoyeur 11	0		Flux 3 Crible 3 niveau	38,44961901
Flux Convoyeur 12	0		Flux 3 Crible 4 niveau	0
flux 1 Concasseur à Cone	243,8815712	Fermer	Flux 4 Crible 1 niveau	0
flux 2 Concasseur à cone	10,79475807		Flux 4 Crible 2 niveau	0
flux Concasseur à Machoir	240,125952		Flux 4 Crible 3 niveau	0
			Flux 4 Crible 4 niveau	0

Figure 12 : Rapport des flux

ANNEXE III

La loi de Rosin – Rammler est :

$$Y = 1 - e^{-(d/d^*)^s}$$

ou

Y est la fraction de partage

d : le diamètre des particules de la classe considérée

d* : le diamètre moyen de la courbe de partage

s: La pente

La loi de Gaudin – Schuhmann est :

$$Y = (d / d^*)^s$$

ou

Y est la fraction de partage

d : le diamètre des particules de la classe considérée

d* : le diamètre moyen de la courbe de partage

s: La pente.

Loi de Log Normal est :

$$Y = \text{erf} [\text{Ln} (d/d^*) / \sigma]$$

ou

Y est la fraction de partage

d : le diamètre des particules de la classe considérée

d* : le diamètre moyen de la courbe de partage

σ : La dispersion

Loi de Reid

$$Y = S + (1 - S) [1 - e^{-(d/d^*)^s}]$$

Ou

Y est la fraction de partage

d : le diamètre des particules de la classe considérée

d* : le diamètre moyen de la courbe de partage

s : Pente.

Loi de Lippek est :

$$Y = S + (1-S) [1 - 2^{|d - dm / d^* - dm|s}]$$

Ou

Y est la fraction de partage

d : le diamètre des particules de la classe considérée

d* : le diamètre moyen de la courbe de partage

dm : le diamètre correspondant au minimum de la courbe de

s : la pente.

La loi de Degoul est :

$$Y = [S + (1-S)] / [1 + (d^*/d)^s]$$

Ou :

Y est la fraction de partage

d : le diamètre des particules de la classe considérée

d* : le diamètre moyen de la courbe de partage

s : la pente

La loi de Hersam est :

$$Q = 30 \frac{T^2 + 2 S T}{G - S} n W D \delta K$$

Avec : Q (t/h) débit,
 T (m) course au bas de la mâchoire mobile,
 S (m) ouverture en position serrée au bas des
 mâchoires,
 D (m) Hauteur de la chambre de concassage,
 G (m) Ouverture de l'entrée,
 W (m) Largeur des mâchoires,
 N (tr/min) vitesse de l'excentrique,
 δ densité apparente de la matière fragmentée

K Coefficient moyen pouvant varié de 0.75 (concasseur à double bielle) à 0.95 (cas du concasseur simple bielle).

REFERENCES

REFERENCES

- [1] *Mines et Carrières 1984 - 2001*
- [2] *MEMENTO des mines et carrières 2000*
- [3] *Revue de constructeur / SVEDALA ARBRA/ 1999*
- [4] *Revue de constructeur ALLIS CHARMER 1998*
- [5] *Technique Mine et carrières (Broyage) 1998*
- [6] *Revue Constructeur DRAGON 1998*
- [7] *Diagnostic carrière El Khroub ENG Baaziz M.L 1995*
- [8] *Technologie des granulats AITCIN / 1994*
- [9] "Modélisation des ateliers de broyabilité des matériaux en cimenterie" F. Flament & Al, Mines et carrières, les techniques 1990
- [10] NEYRTEC "Traitement des matériaux et minerais 1989"
- [11] *Revue de constructeurs NORDBERG 1988*
- [12] *ALTAIRAC Préparation mécanique des matériaux 1987*
- [13] *Matériel et installations de traitement des matériaux et minerais ALSTHOM ATLANTIQUE/ NEYRTEC édition Janvier 1984*
- [14] *Matériels et installations de concassage, broyage, criblage CFBK / édition 1984*
- [15] *MEMENTO des mines et carrières 1981*
- [16] *Thèse en vue de l'obtention d'un doctorat 3^{eme} cycle: Modélisation d'un processus minéralogique approche expérimentale de la dynamique du broyage discontinu et simulation Institut Nationale polytechnique de Lorraine / VICTOR SAINT ETIENNE / 1978.*
- [17] *Mathematical model of wet grinding of ores / G. Huyet / 1976.*
- [18] *Cours de minéralogie - Préparation de minerais Notes et problèmes Université de Liège/ Corneille EK/ 1973*
- [19] *Technique de l'ingénieur / Notion de base sur le criblage / Technologie de fragmentation.*

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *PERFORM'S - Matériel de criblage et de concassage Année 2000*
- [2] *SBM Wagender Vibrating Screens 2000*
- [3] *Revue de constructeur BERGEAUD 1998*
- [4] *Revue de constructeur LARON " Broyeurs pour l'industrie du ciment" 1998.*
- [5] *Technique mine et carrières (Concassage)1997*
- [6] *Fiche technique " Concasseur Hydrocone 200" ALLIS CHALMERS 1996*
- [7] *"Pratique des broyeurs à percussion " J.TRET 1996*
- [8] *Installation au concassage / ALSTHOM ATLANTIQUE/ NEYRTEC édition Janvier 1983*
- [9] *Etude des paramètres des modèles mathématiques utilisés pour simuler le processus de broyage / D. HODOUIN/ Février 1979*
- [10] *Mineral crushing and grinding circuits. A.J. Lynch 1977.*
- [11]*Courroies HUTCHINSON transporteurs et élévateurs Année 1953*

INDEX

- A**
- Arasis, 29
Analyse, 39
Annexe, 43 - 57.
- B**
- Bande transporteuse, 21.
Broyage, 29.
- C**
- Cosider, 3
Concassage, 22, 6.
Cone, 28.
Criblage, 30.
Commentaire, 3.
- D**
- Démarche des conception préliminaire à l'aide de la simulation, 10.
- E**
- ENG, 3.
Empirique, 12
- F**
- Fonction de base d'un simulateur, 14
Flux, 38.
- G**
- Gamme des cribles, 31.
Graphe, 54.
- H**
- Homogène, 23.
Humidité, 30.
Hypotèse, 10.
- I**
- Instalation, 15, 16.
- K**
- Coefficient moyen, 27.
- L**
- Lois, 3.
- M**
- Maille, 31.
Modèle, 11.
Macrophénomino-logique, 12.
Macrophénomino-logique, 12.
Manitention, 23.
Mise en réserve des granulats, 23.
Machoire, 27.
Mode d'emploi, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51.
- N**
- Vitese, 30.
- O**
- Optimisation, 26.
Organigramme, 35.
Orifice, 30.
- P**
- Précribleur, 21.
Prémaire, 22.
Paramétrage, 36.
- Q**
- Quantité, 18.
- R**
- Roche, 24, 29.
Rayon exemprrique, 28
Robon, 31.
- S**
- SIOP, 34, 36, 45, 54.
- T**
- Transport, 7, 32.
Tertiaire, 23.
Terril, 22.
- U**
- Utilisation, 9, 15
- V**
- Variabilité, 7.
Validation, 35.