BRGM

L'ENTREPRISE AU SERVICE DE LA TERRE

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
Direction Générale de la Science, de la Recherche
et du Développement
Rue de la Loi, 200 - 1049 BRUXELLES (Belgique)

document non public

développement et implantation d'un système modulaire de conduite intelligent pour les usines de traitement des minerais

application à l'atelier "délayage" de l'usine des Kaolins d'Arvor (Morbihan, France)

Volume 1 - Rapport final

---

*J.-C. Guillaneau
*O. Guyot
*J.-F. Pastol
*A. Broussaud
**M. Jourdan
**J.-L. Maesen

contrat CCE MA1M-0058-C(CD)

mars 1991
R 32 785

*BRGM
DIRECTION DES ACTIVITÉS MINIÈRES
Département Minéralurgie
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - France - Tél.: (33) 38.64.34.34

**COPPÉE LAVALIN
Rue Louise, 251 - 1050 BRUXELLES - Belgique - Tél.: (32) 2.647.74.35

RESUME

Des systèmes de supervision de procédé sont déjà opérationnels dans le monde mais ils concernent des installations bien instrumentées et n'apportent en général qu'une vision instantanée des grandeurs mesurées sans incorporer de connaissances particulières sur les phénomènes mis en oeuvre. D'autre part des développements récents ont permis de maîtriser des outils comme les systèmes experts ou la simulation des processus industriels permettant de pallier le manque d'informations directement mesurables sur le procédé en apportant de nouvelles connaissances sur le fonctionnement de l'installation.

La présente recherche, intitulée "Développement et implantation d'un système modulaire de conduite intelligent pour les usines de traitement des minerais. Application à l'atelier "délayage" de l'usine des Kaolins d'Arvor (Morbihan, France)" s'est effectuée entre les mois de mars 1988 et janvier 1991 dans le cadre du contrat CCE (DG XII) n° MA1M-0058-C (CD) entre la Commission des Communautés Européennes, la société Coppée Lavalin (Belgique) et le BRGM (France).

Son objectif principal a été la conception et la réalisation d'un système de conduite modulaire et intelligent qui, au travers de modules de simulation et d'intelligence artificielle, permet de conduire une installation minéralurgique en aidant l'opérateur à anticiper les problèmes pouvant survenir et à trouver des solutions. Le système devait initialement être appliqué à l'usine de Chessy (Rhône, France). La construction de cette usine ayant été différée, une autre cible industrielle a du être trouvée. La société des Kaolins d'Arvor S.A. (Morbihan, France) a permis la réalisation de ce projet de recherche en autorisant les partenaires à mettre au point et à tester leur système sur son atelier de délayage. Le système permet, dans le cas de l'application réalisée, d'utiliser simultanément des informations mesurées en usines, les résultats de simulations statiques conduites en temps réel et automatiquement avec le logiciel USIM PAC et une "expertise" relative à la fois à la simulation des procédés et à l'atelier de délayage de l'usine, pour élaborer des conseils à l'opérateur. L"expertise" est mise en oeuvre par le système expert incorporé au système de conduite.

L'élaboration de la structure logicielle générale du système a été réalisée. La définition d'un module de traitement de l'information basés sur la simulation et sur l'utilisation d'un système expert d'autre part a constitué la part la plus novatrice de cette recherche.

L'étude a comporté les phases suivantes:

- analyse fonctionnelle du système (description et organisation des fonctions attendues),
- analyse organique de la structure (décomposition du système en modules),
- choix des supports (logiciels et matériels),
- développement des modules,
- intégration des modules dans la structure,
- préparation du test industriel.

Les objectifs de l'étude ont été en majeure partie atteints: la structure logicielle est réalisée ainsi que les deux principaux modules de traitement de l'information. L'application industrielle est prête (les modules opérationnels ont été configurés pour prendre en compte les spécificités de la cible: calibrage du simulateur, extraction de la connaissance des exploitants...) mais l'installation sur site reste, à l'issue de la recherche en suspend, compte tenu des difficultés rencontrées lors de la détermination des spécifications matérielles du système (réseaux...) par rapport aux objectifs globaux de l'exploitant qui ne sont pas encore déterminés en matière d'automatisation de l'ensemble des ateliers.

CONCLUSION

La présente recherche intitulée "Développement et implantation d'un système modulaire de conduite intelligent pour les usines de traitement de matières minérales. Application à l'atelier "Délayage" de l'usine des Kaolins d'Arvor (Morbihan, France) a globalement atteint les objectifs fixés.

Les objectifs, les étapes méthodologiques et les résultats détaillés de la recherche sont présentés dans le corps principal du rapport. Seuls les points principaux sont rappelés ici en termes de conséquences concrètes pour les différents contractants.

* Apports pour COPPEE LAVALIN

Le premier apport est la genèse d'une structure modulaire et multitâche comme support d'analyse en temps réel des informations issues du procédé.

Cette structure, appelée ANPROC, comporte une base de données configurable environnée d'une messagerie permettant le transfert d'information à la fois vers les modules de dialogue avec l'opérateur, les modules de traitement de l'information et l'environnement (procédé, autres ordinateurs).

Le second intérêt est l'acquisition de connaissance concernant l'utilisation d'un simulateur comme outil d'assistance aux opérateurs.

L'approche système expert est connue et maîtrisée dans le groupe Coppée-Lavalin pour l'aide hors ligne à la fabrication. La mise en oeuvre conjointe d'un tel système et d'un simulateur statique au sein d'une structure temps réel augmente sensiblement la qualité de l'aide à l'opérateur.

* Apports pour le BRGM

L'utilisation du simulateur USIM PAC, développé au BRGM, comme outil de diagnostic et source de conseil dans un système de contrôle automatique apporte **une nouvelle dimension à la simulation statique**:

- prédiction des états stables futurs du système,
- anticipation des problèmes de production,
- proposition d'actions sur le procédé pour pallier ces problèmes ou optimiser la production.

D'autre part, l'introduction des systèmes experts permet d'augmenter sensiblement la qualité de l'assistance fournie par le système. Conçu dans le projet initial comme un module séparé de diagnostic, le système expert a finalement été utilisé pour:

- tester le bon sens des données issues du procédé,
- mettre en oeuvre la simulation directement,
- en analyser les résultats en comparant les prédictions avec les valeurs industrielles.

Comportant une part de savoir de l'exploitant et une grande connaissance sur le simulateur, **le système expert est un outil puissant de valorisation des résultats de la simulation.**

Cette approche combinant système expert et simulateur statique pour fournir à l'utilisateur une information plus pertinente et plus accessible est l'apport le plus important de cette étude.

Enfin, pour apporter une aide plus précise aux opérateurs de l'installation industrielle de test, un nouveau modèle de classificateur à râteau a été élaboré.

* Apports pour l'exploitant de la société cible: les Kaolins d'Arvor (Morbihan, France)

La méthodologie employée pour la configuration du système (recueil de données, analyse des rapports qualité, discussions avec les opérateurs et les cadres, recherche des causes des problèmes rencontrés à la production...) a induit **une réflexion commune sur les stratégies possibles de commande de l'atelier.**

La combinaison système expert et simulateur statique permet à la fois d'intégrer la connaissance des exploitants et la puissance de prédiction des modèles pour limiter les arrêts de production dans l'atelier cible.

Comme le montrent les apports de l'étude cités ci-dessus, les objectifs de celle-ci ont été atteints dans leur quasi totalité. En particulier l'étude a permis de réaliser:

- une structure logicielle modulaire pour le contrôle intelligent des procédés,

- un module combinant simulateur et système expert permettant une valorisation des données issues du procédé pour assister la conduite de celui-ci.

Cependant, le test industriel reste lié aux choix techniques des responsables de l'installation cible même si le système est opérationnel dans sa version "hors-ligne" et configuré pour l'atelier visé.

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION

1.A. OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif de cette étude est la réalisation d'un système intelligent d'aide à la conduite de petites unités minéralurgiques.

Il s'agit d'un système intégrant différents outils logiciels et permettant d'affiner les méthodes classiques de conduite d'usine.

Dans un système de supervision standard dit "contrôle-commande", l'ordinateur relié à l'automate programmable installé dans l'usine est une interface utilisateur de ce même automate. Le système ramène les valeurs du procédé depuis les capteurs, via l'automate, vers l'ordinateur. Celui-ci les visualise numériquement ou graphiquement et le cas échéant, retourne certaines commandes vers l'automate.

L'analyse de ces valeurs caractéristiques du procédé, leur cohérence ne sont vérifiées par l'ordinateur que par des contrôles de seuils retournant des alarmes et par des régulateurs dans certains cas.

Dans de nombreux process et en particulier en minéralurgie, **la maîtrise du comportement de l'usine à un instant donné ne se résume pas au contrôle des seuils des variables scrutées.**

La connaissance du procédé et l'expérience de l'usine permettent à l'opérateur de vérifier les tendances et de corriger les écarts.

Pour imiter ce raisonnement, des liaisons supervision-systèmes experts sont apparues depuis peu dans quelques applications où de nombreux capteurs ramènent toute l'information nécessaire à une analyse (expertise) en ligne du procédé.

Souvent, pour ce type d'application, deux ordinateurs sont connectés. Sur le premier est installée la supervision tandis que le second accueille le système expert qui traite les données en provenance du premier ordinateur.

Cependant, quand peu de capteurs sont installés dans l'usine et c'est le cas de nombreuses petites unités minéralurgiques, le système expert aussi performant soit-il ne peut pas directement analyser le procédé.

Il lui manque des informations que seul l'opérateur peut fournir. Ce sont des informations que l'opérateur peut lire sur des capteurs simples non reliés ou qu'il peut déduire par simple observation (niveaux des bâches, marche-arrêt des équipements,...).

Dans ce cas, c'est avec empirisme et intuition qu'un opérateur juge d'une situation.

Pour pallier ce défaut, le projet réalisé a pour objectif de fournir l'information manquante en reliant le système expert à un programme de simulation de procédé.

La simulation permet, à partir d'une modélisation mathématique du fonctionnement des équipements de l'usine, d'obtenir des jeux de données complets, c'est à dire de l'information en tout point de l'usine, et ce à partir de quelques informations essentielles telles le débit d'alimentation de l'usine et les caractéristiques des appareils.

Ainsi, intermédiaire entre la supervision et le système expert, la simulation permet-elle de combler les lacunes de ceux-ci.

Le système intelligent d'aide à la conduite permet ainsi d'analyser la cohérence des valeurs et le cas échéant d'avertir l'opérateur d'un dysfonctionnement chronique. Il conseille alors une action à l'opérateur pour remédier à ce problème.

Enfin, et c'est là un côté novateur de l'utilisation du système intégré, la simulation est utilisée non seulement comme un outil de diagnostic du fonctionnement mais comme un outil de prévention des disfonctionnements.

L'objectif visé, la productivité de l'installation, n'en est que mieux servi.

Le principe étant posé la complexité du système apparaît lorsqu'on analyse les points faibles de chaque élément.

La supervision ne fait que ramener des valeurs automates. Les capteurs sont sujets aux aléas de la mécanique et de l'électronique et les valeurs peuvent perdre de leur sens si l'étalonnage est incorrect ou si il y a dérèglement du capteur.

Le coeur du système expert est un ensemble de règles qui jugent par un algorithme d'enchaînement avant/arrière d'une situation. Les règles doivent être complètes et une batterie de tests sur une période assez longue doit être pratiquée pour vérifier la validité du raisonnement face aux événements exceptionnels qui sont par essence rares, parfois inédits et donc non envisagés à la conception du système expert. La prise en compte et la maîtrise de ces événements constitue malgré tout une des raisons essentielles de la mise en place d'un système expert.

Le simulateur utilise des modèles mathématiques représentant le fonctionnement des équipements. Un certains nombre de paramètres physiques définissent ces modèles. Cependant les conditions d'opérations d'un même équipement sont tout à fait différentes suivant le type de minerai traité et l'usine où il est installé. Ainsi doit on effectuer un "calibrage" de ces modèles pour les adapter aux conditions locales.

Mais les conditions d'opération peuvent changer en cours de fonctionnement dans la mesure où le produit traité subit des variations (de granulométrie par exemple), où les débits d'entrée varient, ...

Il faut donc régulièrement vérifier le calibrage des modèles et le cas échéant changer les paramètres d'ajustement.

Ainsi, la validité des données après simulation est-elle subordonnée à la validité des données de départ fournies par la supervision et au calibrage du simulateur.

Elle subordonne elle-même la validité du raisonnement du système expert.

Si le principe du système de conduite intelligent reste simple, l'on voit donc que sa mise en place pratique relève d'une attention soutenue au problème de fiabilité des données.

1.B. ORGANISATION ET DEROULEMENT DE L'ETUDE

Les partenaires de cette étude proviennent d'une culture industrielle différente conditionnant une approche méthodologique particulière. Les apports, a priori, des partenaires vont être précisés et la répartition des tâches lors du déroulement de l'étude sera détaillée.

1.b.1. LES COMPETENCES DE LA SOCIETE COPPEE LAVALIN DANS LE CADRE DE CE PROGRAMME

La société Coppée Lavalin a des compétences étendues dans le domaine des services d'ingéniérie depuis les études de faisabilité jusqu'aux opérations "clefs en main". Par ailleurs, les liens tissés avec le groupe Lafarge ont conduit Coppée Lavalin à travailler sur l'automatisation de procédés continus en cimenterie.

Les apports de cette société ont ainsi concerné les aspects supervision classique de procédé, traitement en temps réel de l'information et intégration des modules logiciels utilisés.

1.b.2. LES COMPETENCES DU DEPARTEMENT MINERALURGIE DU BRGM DANS LE CADRE DE CE PROGRAMME

Le département Minéralurgie du BRGM a une activité de recherche dans les domaines de l'étude fondamentale des procédés de traitement des matières minérales et du développement de ces procédés.

L'équipe Informatique Minéralurgique développe depuis 1984 des outils logiciels permettant d'assister les minéralurgistes dans différents domaines:

- détermination de plans d'échantillonnage de minerais morcelés et calcul de l'erreur associée,

- établissement de bilans matière sur des procédés continus stabilisés,

- la conception et/ou l'optimisation d'installations industrielles de traitement des matières minérales.

Ce dernier point fait appel à la simulation de processus au travers de modèles mathématiques reproduisant le fonctionnement des différents appareils utilisés en minéralurgie. Ce savoir faire en modélisation s'est concrétisé par la création d'un outil logiciel: USIM PAC (cf. partie 3.b).

Les apports initiaux du département minéralurgie du BRGM ont ainsi concerné les aspects simulation de processus, connaissance des procédés minéralurgiques et développements logiciels.

1.b.3. ORGANISATION DE L'ETUDE

Dès le lancement de l'étude deux axes ont été suivis en parallèle:

- la définition fonctionnelle et organique du système ANPROC,

- la préparation de l'application industrielle sur le site de la société des Kaolins d'Arvor (Morbihan, France).

Les problèmes rencontrés lors de la préparation de la démonstration industrielle ont fortement perturbé le déroulement du premier point comme l'explique la partie 5 de ce rapport.

Les travaux réalisés se sont déroulés en 6 phases:

<u>phase n° 1</u>: analyse fonctionnelle du système ANPROC

- Description des fonctionnalités attendues.
- Organisation fonctionnelle du système.

<u>phase n° 2</u>: analyse organique de la structure

- Décomposition du système en modules.
- Définition de la messagerie et des communications.

<u>phase n° 3</u>: choix des supports

- Choix des outils logiciels.
- Détermination d'une base matérielle.

<u>phase n° 4</u>: développement des modules

- Base de données.
- Messageries.
- Système expert.
- Simulateur.
- Interface utilisateur.
- Communication avec le système de supervision "classique".

<u>phase n° 5</u>: intégration des modules sous WINDOWS 3.0

- Gestion de la mémoire.
- Déclenchement des fonctions.
- Scrutation continuelle des informations.

<u>Phase n° 6</u>: préparation du test industriel

- Extraction de l'expertise des opérateurs et des ingénieurs du site industriel.
- Rédaction des règles de connaissance pour le système expert.
- Création d'un simulateur dédié pour le site industriel.

Les cinq premières phases ont été réalisées successivement alors que la dernière phase a fait l'objet de développements importants décrits dans la partie 5 de ce rapport.

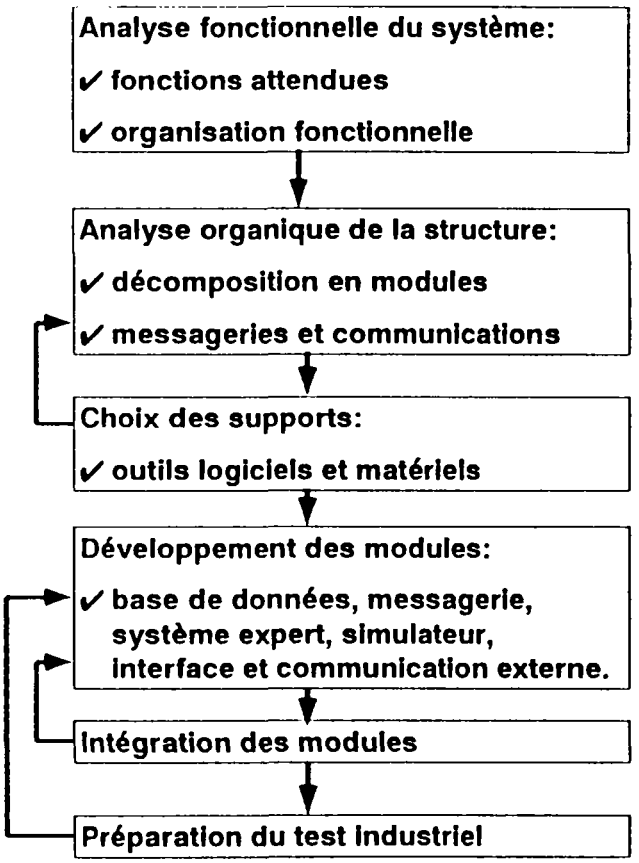
1.b.4. DEROULEMENT DE L'ETUDE

Les phases décrites précédemment (cf. figure 1.b-1) ne se sont pas enchaînées linéairement et, dès le choix du site industriel pour le test du système réalisé, la phase n° 6 s'est amorcée.

Cette phase a globalement demandé beaucoup plus d'effort que prévu initialement. Le projet était conçu pour s'intégrer dans le démarrage de l'exploitation minière de Chessy (production de cuivre, plomb et zinc). Ce démarrage ayant été différé, une nouvelle cible industrielle a dû être trouvée et la société des Kaolins d'Arvor a finalement été retenue malgré l'absence sur l'installation de système de supervision classique. Une étape préalable à la phase n° 6 a donc été l'installation d'un système de supervision "classique" sur un atelier de l'usine: le délayage (cf. parties 5.a et 5.b).

Cette étape, s'intégrant dans le plan général d'automatisation des Kaolins d'Arvor, a duré plus longtemps qu'il n'était initialement prévu et a fortement perturbé la partie test industriel du projet.

La mise en oeuvre du système sur site reste, à la fin de l'étude, conditionnée par l'acceptation par la société des Kaolins d'Arvor des spécifications du système ANPROC compte tenu de la stratégie de développement automatique interne à l'entreprise qui, à de jour, n'a pas été entièrement définie.



Etapes Méthodologiques de l'étude

Figure 1.b-1: Déroulement de l'étude

2. DESCRIPTION DE LA STRUCTURE DU SYSTEME

2.A. SON ENVIRONNEMENT MATERIEL

Le système ANPROC est conçu pour être utilisé sur micro-ordinateur et pouvoir s'adapter sur tout système de supervision déjà existant.

La micro-informatique offre maintenant des capacités de traitement suffisantes pour la gestion de l'information en temps réel:

- processeurs 80386 ou 80486,
- système d'exploitation multitâche (OS/2) ou fonctionnant en temps partagé (WINDOWS 3.0),
- cartes d'entrées-sorties "intelligentes" comportant un processeur autonome.

D'autre part, le système doit être suffisamment bon marché pour s'adapter à la conduite de petits ateliers de traitement de matières minérales et doit donc se conformer aux normes du marché grand public pour bénéficier de périphériques et de logiciels classiques et peu onéreux.

La solution retenue a priori comporte pour le système ANPROC:

- un micro-ordinateur compatible IBM PC avec un processeur 80386 (ou 486) disposant:
  - d'une large capacité de mémoire étendue (ou moins 4 Mégaoctets)
  - d'une carte et d'un écran graphique haute définition couleur,
  - de ports de communication séries et parallèle,
  - d'un coprocesseur arithmétique 80387,

- un réseau local de type bureautique classique pour assister la communication avec le système automatique préexistant,

- un environnement multitâche: WINDOWS 3.0 qui est peu onéreux et reste compatible avec les nombreuses applications développées pour le système d'exploitation D.O.S.,

- un système expert fonctionnant sous cet environnement et qui sera décrit plus loin dans ce rapport.

Le matériel mis en oeuvre est ainsi: puissant et ouvert tout en demeurant relativement bon marché en se conformant aux normes du marché grand public.

2.B. SA COMPOSITION LOGICIELLE

2.b.1. CONSTITUTION DU SYSTEME

Le coeur du système sur lequel se base l'application réalisée, a été conçu de façon très modulaire. Il consiste en fait en un ensemble de blocs indépendants dont le nombre peut être augmenté très aisément.

Le module de base absolument nécessaire au fonctionnement du système **est le module "base de données"** qui remplit la fonction de point central de connexion pour tous les autres modules. Ce rôle primordial de passerelle est assuré afin de permettre aux autres modules du système, que nous appellerons **"modules auxiliaires"**, d'accéder à un ensemble d'informations communes et par là même de communiquer entre eux de manière indirecte.

Un principe fondamental du système est donc que la communication entre les différents modules de traitement ne se fait **jamais** directement mais toujours par l'intermédiaire du module "base de données" central.

Le module "base de données" assure les fonctionnalités décrites ci-dessous en mettant à la disposition des autres modules une série de tables en mémoire, dans lesquelles ceux-ci peuvent aller lire ou écrire des valeurs comme ils le désirent.

Cet ensemble de tables constitue **la base de données unifiée ou BDU.**

Dans l'implantation actuelle du système, la structure de la BDU est relativement simple mais rien n'empêche de la sophistiquer pour les applications d'un type différent.

En effet, la déclaration de la structure de la BDU est très simplement modifiable. De plus, ceci n'entraîne pas de changement dans les autres modules constituant le système. Actuellement, il existe trois types de table contenant chacune 1024 éléments (ce nombre est lui-même aisément modifiable):

- une table d'éléments digitaux, une table d'éléments entiers et une table d'éléments à virgule flottante,

- une table d'éléments symboliques (chaînes de caractères) serait très facile à adjoindre au système; cependant, dans le cas réel considéré, son utilité était inexistante.

Les modules auxiliaires, dont il est question plus haut, sont donc les utilisateurs des tables de la BDU. Ils constituent en réalité les différents blocs de traitement à réaliser lors de la conception d'une application donnée. Certains modules vont fournir des valeurs à placer dans la BDU, valeurs pouvant provenir de différentes parties d'un procédé, (Programmes "Driver" de communication avec des automates programmables, des régulateurs, ou une supervision classique réalisant l'interface vers les niveaux inférieurs par exemple).

D'autres modules peuvent récupérer des informations dans la BDU afin de réaliser diverses opérations sur ces valeurs, (Programmes de génération de rapports, de constitution de tendances ou d'historiques par exemple). D'autres modules encore peuvent récupérer des informations dans la BDU, effectuer divers traitements puis réintroduire les résultats de ces traitements dans la BDU, (Programmes de simulation, systèmes experts, etc...). Les différents modules, enfin, peuvent échanger des informations entre eux ou synchroniser des opérations par les lectures/écritures mutuelles dans la BDU.

On peut classer les modules d'un système parmi trois catégories principales:

1. D'abord, les modules auxiliaires possédant leur utilité propre. Ce type de module, entièrement conçu pour fonctionner au sein de la structure du système et intégrant l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à l'accès à la BDU, sera appelé **module interne**.

2. Ensuite, les modules auxiliaires permettant de réaliser l'interfaçage avec des logiciels standards préexistants. Les modules de ce type intègrent eux aussi l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à l'accès aux éléments de la BDU. En plus de cela, ils comportent une partie spécifique qui leur permet de réaliser la connexion avec des logiciels extérieurs ne pouvant être finalement adaptés pour communiquer directement avec la base de données. De par leur rôle de passerelle ou "d'adaptateur", on les appellera **modules d'interface** ou **"moulinettes"**. (Des modules de ce type sont par exemple nécessaires pour réaliser l'interface avec le logiciel de simulation USIM PAC ou encore avec le système expert NEXPERT-OBJECT).

3. Enfin, les modules constitués par les logiciels standards préexistants qui sont interfacés grâce aux "moulinettes". Les modules de ce type seront appelés **modules externes**.

Les modules de type **interne** et **d'interface** (moulinettes) consistent en des programmes écrits spécialement pour l'environnement d'exploitation choisi (WINDOWS) et respectant les règles imposées par celui-ci.

Chaque module de ce type générera donc une tâche tournant sous WINDOWS en mode multitâche non-préemptif à l'intérieur de la première machine virtuelle du mode 386 de WINDOWS.

Les modules de type externe eux, seront la plupart du temps des programmes standards écrits pour fonctionner en monotâche sous DOS, ou parfois, les programmes déjà écrits pour fonctionner avec WINDOWS. (Le programme de simulation USIM PAC est un logiciel DOS standard alors que le système expert choisi est lui un logiciel WINDOWS).

Chaque module de ce type générera donc une tâche tournant en mode multitâche préemptif dans une machine virtuelle différente créée par le mode 386 de WINDOWS. Par contre, un module externe de type WINDOWS générera une tâche supplémentaire tournant sous WINDOWS en mode multitâche non-préemptif à l'intérieur de la première machine virtuelle en compagnie des tâches **internes** et d'interface décrites plus haut.

2.b.2. FONCTIONNEMENT DU SYSTEME

Le module "base de données" doit être le premier à être lancé. Les modules auxiliaires sont démarrés par la suite. Chaque module auxiliaire qui démarre signale sa présence au module "base de données" par l'envoi d'un message d'initialisation qui est enregistré dans une liste de modules connectés.

Un module auxiliaire qui s'arrête, signale sa disparition par l'envoi d'un message de terminaison au module "base de données", ce qui permet à celui-ci d'éliminer ce module auxiliaire de la liste des modules actifs connectés.

Lorsque le module "base de données" est stoppé, il envoie des messages de terminaison à tous les modules auxiliaires encore connectés afin de leur signaler l'arrêt global du système. Cette opération est réalisée grâce à la table des modules actifs maintenue à jour en permanence.

Le mécanisme qui est utilisé pour réaliser l'ensemble de ces opérations d'initialisation et de terminaison, ainsi que pour permettre aux modules auxiliaires de lire ou d'écrire dans les tables de la BDU est la **messagerie**.

La messagerie consiste en une couche logicielle présente dans tous les modules aussi bien dans le module "base de données" que dans les modules auxiliaires de types interne et d'interfaçage. Elle est constituée d'un jeu de messages standardisés ainsi que d'un protocole d'utilisation de ces messages.

La messagerie développée repose sur deux concepts fondamentaux offerts par WINDOWS:

- les échanges de messages entre tâches,
- l'utilisation de zones de mémoire partagée.

Chaque module auxiliaire qui veut initialiser des échanges avec le module "base de données", qui veut effectuer des écritures ou des lectures dans la BDU, ou qui veut terminer les échanges, utilisera la messagerie pour mener à bien ces diverses opérations.

2.b.3. DESCRIPTION DE LA MESSAGERIE

L'environnement d'exploitation WINDOWS supporte un ensemble étendu de messages standards qui sont utilisés pour son fonctionnement interne. Parmi ceux-ci, il existe un sous-ensemble de messages, qui utilisé en observant certaines règles, permet à des applications WINDOWS d'avoir des "conversations" et ainsi de communiquer entre elles.

Le protocole ainsi défini est appelé DDE (pour "Dynamic Data Exchange"). Une option envisageable aurait pu être d'utiliser directement ce protocole pour réaliser la messagerie. Cependant, le protocole DDE n'est pas idéal pour le type de système développé (il est par contre très utilisé pour des échanges entre applications bureautiques et convient très bien dans ce cas).

En fait, une autre option offerte par WINDOWS a été utilisée. Il s'agit de la possibilité de définir son propre jeu spécifique de

messages et la façon dont s'échangent et se comportent ces messages.

Le jeu de messages utilisé est le suivant:

1. message d'initialisation des échanges (WM-JLP-INIT)
2. message d'écriture dans la BDU (WM-JLP-ECRIT)
3. message de lecture dans la BDU (WM-JLP-LECT)
4. message de terminaison des échanges (WM-JLP-TERM)
5. message d'acquittement positif (WM-JLP-ACK)
6. message d'acquittement négatif (WM-JLP-NACK)

Différentes informations sont associées aux messages. Les principales sont le type du message, l'identificateur du module expéditeur, l'identificateur du module récepteur et, suivant le type de message, un identificateur spécifiant le type de ces données ou encore un identificateur définissant le type de message acquitté. La partie a de l'annexe 1 détaille la mise en oeuvre des messages utilisés par les différents modules du système.

2.b.4. DESCRIPTION DU SYSTEME REEL

Le système réel mis en place dans le cas d'application est constitué des éléments suivants:

a. Le module "base de données" nécessaire au fonctionnement du système.

b. Un module auxiliaire de type interne effectue la récupération d'informations dans le système de supervision classique (ici un superviseur FIX) et l'injection de ces informations dans la BDU via la messagerie.

La récupération des informations dans le superviseur était initialement prévue grâce à une liaison série entre l'ordinateur de supervision et l'ordinateur d'expertise et de simulation. Cependant, l'intégration du côté superviseur FIX d'un programme de communication série s'est révélée très difficilement réalisable de façon simple et fiable. C'est pourquoi un échange périodique de fichiers sur un réseau local bureautique reliant les deux postes a été défini.

c. Un module auxiliaire de type interne permet de réaliser des rapports sur divers éléments de la BDU dont les valeurs proviennent du procédé.

d. Un module auxiliaire de type interne permet d'offrir une interface opérateur conviviale. Le module récupère diverses valeurs provenant du procédé, des simulations et des expertises effectuées.

e. Un module auxiliaire de type "moulinette" permet d'effectuer la liaison avec le programme de simulation USIM PAC. Ce module doit, sur décision du système expert, effectuer la préparation des fichiers d'initialisation du simulateur en récupérant certaines valeurs du procédé se trouvant dans les tables de la BDU.

   Il doit aussi, toujours sur décision du système expert, effectuer la lecture de certaines variables dans les fichiers résultats des simulations et injecter ces valeurs dans les tables de la BDU. Ceci permet de rendre disponible le résultat des simulations pour le système expert.

f. Un module auxiliaire de type moulinette permet de connecter le système expert sur la BDU. Ce module effectue la lecture périodique d'informations contenues dans les tables de la BDU pour les rendre disponibles au système expert. Il réalise de la même façon, des écritures de valeurs provenant du système expert dans les tables de la BDU.

   C'est grâce à des lectures/écritures de ce type que le système expert peut déclencher la préparation des fichiers de démarrage du simulateur pour l'autre moulinette; ou encore provoquer la lecture des fichiers de résultat du simulateur par cette même seconde moulinette.

g. Un module externe de type "DOS" est constitué par les modules de traitement du simulateur USIM PAC. Ce module est considéré dans le système comme un outil à la disposition du système expert.

   Le lancement des simulations est réalisé directement par celui-ci, après que la moulinette d'interfaçage du simulateur ait terminé la préparation préalable des fichiers de démarrage.

h. Un module externe de type "WINDOWS" est constitué par le système expert NEXPERT-OBJECT. Celui-ci constitue l'élément principal du système réel, c'est pour lui que tous les autres modules travaillent (à l'exception du module de génération de rapports qui est indépendant), c'est lui qui décide de la nécessité ou non de lancer une simulation.

3. DESCRIPTION DES OUTILS UTILISES

3.A. L'ENVIRONNEMENT WINDOWS

L'environnement WINDOWS est ce qu'on appelle un "environnement d'exploitation". Il ne constitue pas à lui seul un système d'exploitation complet, mais il ajoute au système d'exploitation standard sur lequel il s'appuie (MS-DOS) une série de possibilités supplémentaires.

Ces diverses possibilités sont les suivantes:

- la capacité de faire fonctionner simultanément plusieurs programmes (multitâche). En fonction de la version de WINDOWS utilisée, les modes multitâches proposés sont différents. (Pour une présentation détaillée des modes d'utilisation de WINDOWS et de ses aspects multitâche se reporter à l'annexe 1.b).

- une gestion très sophistiquée de la mémoire qui permet, lorsque les programmes sont "bien écrits" afin d'en tirer parti, de faire fonctionner plusieurs applications importantes en même temps, alors que la somme des tailles mémoire réclamées par chaque application dépasse largement la quantité de mémoire vive disponible sur la machine,

- des primitives graphiques très étendues disponibles pour le programmeur d'applications spécifiques WINDOWS,

- une interface utilisateur très sophistiquée et très conviviale qui permet l'utilisation de la souris et qui présente des menus déroulants des boites de dialogue, des icônes, etc... Ce type d'interface est du même genre que celui présenté sur la MACINTOSH d'APPLE ou sur les stations de travail d'ingénierie fonctionnant sous le système d'exploitation UNIX avec des systèmes de fenêtrage basés sur X-WINDOWS,

- des possibilités d'échange d'informations entre les applications, soit "manuellement" par l'utilisation du "Presse-papier", soit "automatiquement", entre applications spécifiques WINDOWS, grâce à l'usage de la mémoire partagée et du protocole DDE (pour "Dynamic Data Exchange") qui décrit une procédure d'établissement et de réalisation des échanges entre programmes,

- le support des applications "DOS standard" existantes qui peuvent encore être utilisées telles quelles, avec cependant certaines restrictions sur la simultanéité d'utilisation ou l'usage à l'intérieur d'une fenêtre, suivant la version de WINDOWS et le type de machine utilisés.

Ces possibilités peuvent être rapidement visualisées sur la figure 3.a-1: les logiciels utilisés dans le cadre du projet apparaissent soit dans des fenêtres soit sous forme d'icônes.

Figure 3.1-a

USIM PAC — INITIALISATION — logiciel BRGM

DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE POUR LE FLUX 5
DEBIT SOLIDE <t/h> 33.966 DEBIT LIQUIDE <t/h> 176.936

MAILLE micron	POIDS %	TENEUR mine				MAILLE micron	POIDS %	TENEUR mine			
5000	0.03	100.00				100	6.64	100.00			
4000	0.09	100.00				63	5.49	100.00			
3150	0.10	100.00				40	3.26	100.00			
2500	0.20	100.00				20	8.39	100.00			
2000	0.22	100.00				10	12.38	100.00			
1600	0.62	100.00				5	17.12	100.00			
1000	1.39	100.00				2	26.56	100.00			
630	2.46	100.00									
400	4.17	100.00									
250	4.35	100.00									
160	6.54	100.00									
	100.01	100.01									

<ESC> pour continuer

Auproc

NEXPERT — Base de Données — Messagerie1 — Messagerie2

NEXPERT

File Edit Expert Encyclopedia Network
Report Windows List Of Rules Help
List Of Hypotheses
List Of Data
List Of Objects
List Of Classes
List Of Properties

3.B. LE LOGICIEL DE SIMULATION USIM PAC

3.b.1. INTRODUCTION

Depuis 1984 les auteurs se sont fixés pour objectif de **faire de la simulation un outil opérationnel d'aide à la conception et à l'optimisation des installations industrielles de traitement des minerais.** Plusieurs applications réussies ont fait l'objet de publications antérieures (1) (2) (3). Pour atteindre cet objectif, deux voies de recherche complémentaires ont été suivies en parallèle :

- d'une part, des recherches ont été conduites pour tester les modèles mathématiques d'opérations unitaires publiés, les adapter aux exigences des applications industrielles, dans certains cas en créer de nouveaux, et définir des procédures de mise en oeuvre de ces modèles (4) (5),

- d'autre part, il était manifeste dès le début du projet que la conception et l'optimisation des installations industrielles ne pouvaient être réalisées que par des minéralurgistes. Il a donc été nécessaire de concevoir des logiciels utilisables par des ingénieurs minéralurgistes soucieux de la productivité de leur travail et n'ayant pas de connaissance ni d'expérience en informatique.

Le logiciel **USIM PAC** (6) (7) est le premier logiciel modulaire multi-fonction intégré d'aide à la conception et à l'optimisation des usines de traitement des minerais.

Quelques unes des préoccupations industrielles auxquelles **USIM PAC** répond sont d'abord listées. Les caractéristiques générales d'**USIM PAC** sont ensuite exposées.

3.b.2. PREOCCUPATIONS AUXQUELLES USIM PAC REPOND

Les problèmes techniques de conception ou d'optimisation d'installations auxquels sont confrontés les minéralurgistes revêtent des aspects très divers.

Pour répondre à cette diversité, le logiciel **USIM PAC** est modulaire. Chacun des modules complémentaires apportent des outils correspondant à la résolution d'une gamme de problèmes :

MODULE DE SIMULATION

Ce module de base inclut :
- toutes les fonctions d'entrée et de gestion des données
- toutes les fonctions de présentation des résultats de simulation
- toutes les fonctions graphiques (tracés de flowsheet, tracés de courbes...)
- le manuel d'utilisation d'**USIM PAC** complet

MODULES COMPLEMENTAIRES :

- *Module d'aide à la conception*

  Ce module inclut :
  - le dimensionnement des équipements principaux
  - le calcul des coûts d'investissement

- *Module de calibrage des modèles*

  Ce module inclut :
  - le calcul des bilans matière cohérents
  - le calibrage des paramètres des modèles
  - le calcul des propriétés physiques à partir de données industrielles expérimentales

- *Module de développement de modèles*

  Ce module regroupe toutes les fonctions pour l'addition ou la modification des symboles (icônes) et des modèles d'opérations unitaires.

Pour l'exploitant d'une usine existante, des préoccupations courantes sont de :

- Modifier certains réglages avec parfois la nécessité de prendre rapidement des décisions, ou même faire évoluer le flowsheet du procédé pour adapter l'usine à de nouveaux contextes extérieurs (nouvelles exigences des acheteurs de concentré, orientation vers des marchés différents) ou intérieurs (changement de caractéristiques du minerai, augmentation de capacité). Tous les exploitants savent que les essais industriels qui sont réalisés pour préparer de telles décisions sont en général coûteux, difficiles à réaliser, et difficiles à interpréter ;

- Etablir un bilan matière pour caractériser le fonctionnement et évaluer les performances de l'installation ;

- Visualiser les performances de certains appareils en traçant des courbes de partage ou des courbes granulométriques.

Pour le constructeur d'équipements, il est important de sélectionner rapidement et au mieux le matériel à proposer pour chaque application, et de prévoir 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 usine, 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 :

- Dès les premiers travaux de laboratoire, il souhaite esquisser les grandes lignes de la future usine et évaluer approximativement son coût. A ce stade il est important de bâtir cet avant-projet en un petit nombre d'heures.

- Lors de l'expérimentation en usine pilote, il souhaite d'une part réduire dans la mesure du raisonnable le coût du pilotage, surtout si la décision finale d'investir n'est pas encore prise, et d'autre part utiliser les résultats de l'expérimentation en usine pilote pour :

    - Dimensionner les équipements de la future usine,

    - Déterminer parmi les variantes de flowsheet envisageables, la plus conforme aux objectifs techniques et économiques.

Ces préoccupations sont au premier abord assez disparates. Cependant les méthodes de calcul (algorithmes) qui peuvent assister le minéralurgiste face à ces préoccupations ont de nombreux points communs, et notamment manipulent abondamment des données de nature semblable : débits d'eau et de solide, compositions granulométriques et chimiques ou minéralogiques. **USIM PAC** n'est pas un assemblage hétérogène et artificiel de fonctions disparates, mais bien un ensemble homogène de fonctions complémentaires et compatibles. Du fait de la diversité des problèmes pour lesquels il a été conçu, **USIM PAC** n'a pas une structure linéaire avec une démarche d'utilisation unique. Ainsi, la figure 3.b-1 montre trois exemples d'objectifs qu'**USIM PAC** permet d'atteindre, avec des méthodologies simplifiées d'utilisation du logiciel adaptées à chacun des objectifs.

OBJECTIF

Optimiser le flowsheet et éventuellement dimensionner les équipements nouveaux en vue d'augmenter la capacité d'une usine existante.

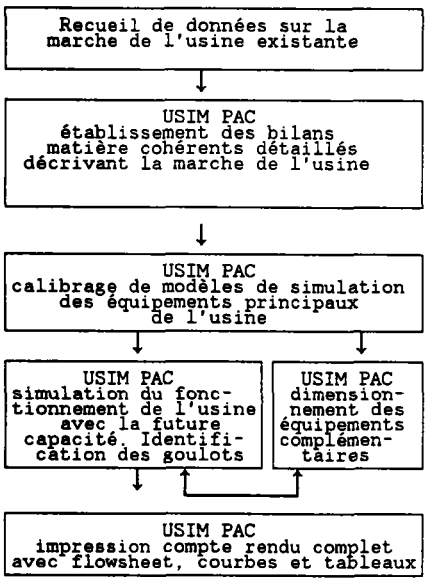
OBJECTIF

Etablir très rapidement un **avant projet** chiffré pour une usine de concentration de minerai (broyage et flottation).

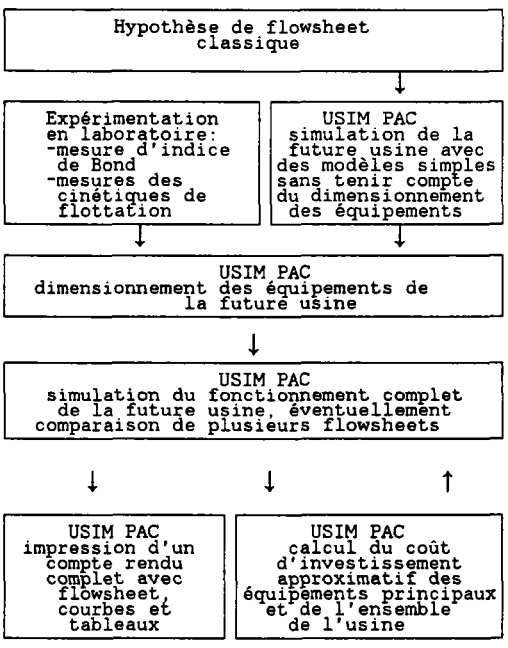
OBJECTIF

Concevoir une usine de concentration nouvelle à partir d'une expérimentation en usine pilote.

METHODOLOGIE



METHODOLOGIE



METHODOLOGIE

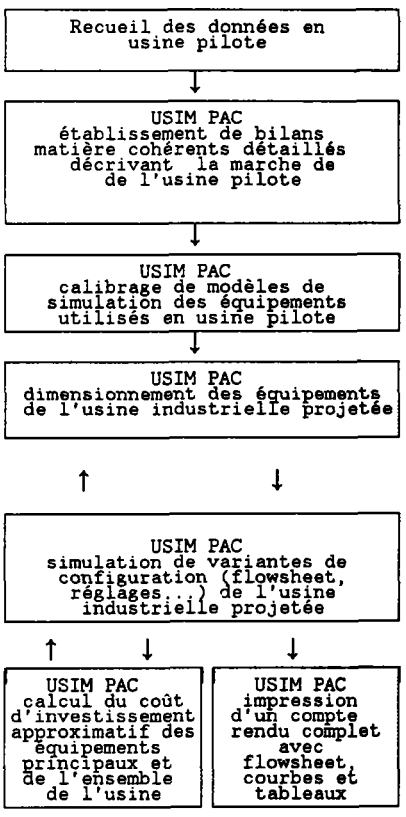


Figure 3.b-1: Trois exemples de méthodologie d'utilisation d'USIM PAC

3.b.3. CARACTERES GENERAUX D'USIM PAC

USIM PAC a été conçu pour les professionnels de l'industrie minérale et non pour des informaticiens. De ce fait, **USIM PAC** se conforme à un certain nombre de contraintes :

- l'entrée des données et la présentation des résultats manipulent des symboles graphiques et un vocabulaire dont le sens est clair pour les praticiens. Les flowsheets sont présentés avec un graphisme traditionnel. Les paramètres à manipuler ont dans leur grande majorité une signification physique claire : débits, distributions granulométriques et minéralogiques, volumes, diamètres, masses, vitesses de rotation...

- les données sont entrées avec des questionnaires clairs, simples. L'utilisateur peut à tout moment revenir en arrière et corriger facilement toute donnée, sur une même page-écran ou sur une page antérieure. De nombreux dispositifs de protection éliminent les risques d'erreurs liés à un manque d'entraînement à l'utilisation du clavier,

- les données sont mémorisées sous des formes qui permettent très facilement leur visualisation, leur réutilisation, ou leur modification ultérieure,

- la méthodologie de développement assure qu'**USIM PAC** est robuste,

- **USIM PAC** est livré avec une documentation soignée.

Le menu principal d'**USIM PAC** permet d'accéder à toutes les fonctions du logiciel. Il est composé de cinq écrans :

- Le premier étant un écran d'introduction :

- Le deuxième écran (figure 3.b-1) regroupe les fonctions d'acquisition et de manipulation de données. Ces fonctions sont utilisées pour entrer ou modifier des données, quel que soit le type de traitement ultérieur envisagé.

- Le troisième (figure 3.b-2) regroupe les fonctions de traitement des données :

- Etablissement d'un bilan matière cohérent ;
- Ajustement d'un modèle aux données expérimentales ;
- Détermination d'une propriété physique ;
- Dimensionnement d'un appareil ;
- Calcul de coût d'investissement.

- Le quatrième écran (figure 3.b-3) regroupe 8 fonctions de visualisation et d'édition de résultats et de données.

- Le cinquième écran permet l'accès direct aux fonctions éventuellement ajoutées par l'acquéreur à celles livrées avec le logiciel.

```
USIM PAC                                MENU                                logiciel BRGM
═══════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════
                 Entrée des données et gestion de fichiers

     1 Création ou modification de flowsheet (graphique interactif)
     2 Renumérotation du flowsheet

     3 Description du modèle de minerai
     4 Description des caractéristiques des appareils
     5 Description de l'alimentation de l'usine et initialisation

     6 Changement d'échelle pour un fichier initialisation
     7 Fusion de deux fichiers initialisation
     8 Changement de nom de fichier
     9 Liste des fichiers disponibles
    10 Sortie provisoire au système d'exploitation

                              Votre Choix:   1

<F2> Entrée des données  <F3> Traitement des données <F5> Autres options
  et gestion de fichiers <F4> Résultats              <F10> Sortie
                                                       <ESC> pour continuer
═══Copyright (c) BRGM 1986-1990═══════════════════════════════════Version 1.20═══
```

Figure 3.b-1 : Deuxième page-écran du menu principal d'USIM PAC

```
USIM PAC                                MENU                                logiciel BRGM
═══════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════

                          Traitement des données


    11 Etablissement d'un bilan matière cohérent

    12 Ajustement d'un modèle aux données expérimentales
    13 Détermination d'une propriété physique

    14 Simulation d'un atelier complet
    15 Dimensionnement d'un appareil

    16 Calcul des coûts d'investissement

                              Votre Choix:  11

<F2> Entrée des données  <F3> Traitement des données <F5> Autres options
  et gestion de fichiers <F4> Résultats              <F10> Sortie
                                                       <ESC> pour continuer
═══Copyright (c) BRGM 1986-1990═══════════════════════════════════Version 1.20═══
```

Figure 3.b-2 : Troisième page-écran du menu principal d'USIM PAC

```
USIM PAC                          MENU                          logiciel BRGM
                          Présentation des résultats

   17 Présentation globale des résultats de la simulation
   18 Présentation détaillée par flux des résultats
   19 Visualisation du fichier fonctionnement FICHIER.FON
   20 Création d'un dossier complet

   21 Tracé de courbes granulométriques

   22 Tracé de courbes de partage
   23 Visualisation des résultats de la courbe de partage
   24 Impression des résultats de la courbe de partage

   25 Impression de flowsheet

                              Votre Choix:  17

<F2> Entrée des données  <F3> Traitement des données <F5> Autres options
  et gestion de fichiers <F4> Résultats              <F10> Sortie
                                                       <ESC> pour continuer
Copyright (c) BRGM 1986-1990                                    Version 1.20
```

Figure 3.b-3 : Quatrième page-écran du menu principal d'USIM PAC

USIM PAC fonctionne sur tout micro-ordinateur compatible AT ou PS avec système d'exploitation MS DOS 3.3 ou postérieur, 640 ko de mémoire centrale contiguë, coprocesseur arithmétique, écran graphique et disque dur.

Les écrans EGA (avec 256 ko de mémoire graphique) ou VGA donnent les meilleurs résultats, bien que la compatibilité avec les écrans de types Hercules et CGA soit assurée. Une imprimante graphique et si possible un traceur couleur sont également nécessaires pour un usage opérationnel.

Afin de répondre pleinement à des besoins variés, **USIM PAC** présente trois niveaux d'utilisation :

- le niveau d'utilisation interactive : c'est le niveau "normal" d'utilisation, le seul utilisé par un minéralurgiste pour la résolution d'un problème pratique. A ce niveau la convivialité est totale,

- le niveau configuration : il est possible de modifier assez rapidement de nombreux éléments d'apparence d'**USIM PAC** pour l'adapter à un contexte particulier : insertion du jargon d'une usine ou d'une industrie, suppression ou création de la possibilité d'accéder intéractivement à un paramètre, création de nouvelles versions.

Ces modifications se font au travers de fichiers de configuration, de type ASCII, dont la structure est claire, et au moyen d'un éditeur quelconque.

- le niveau programmation: l'acquéreur d'**USIM PAC** peut programmer de nouvelles icônes pour symboliser des appareils dans les flowsheets, et de nouveaux modèles de simulation des appareils. Modèles et icônes sont introduits sous forme de sous-programmes FORTRAN, dont l'écriture doit respecter quelques règles simples et clairement définies. Ces sous-programmes doivent être compilés et liés avec un "code objet" livré avec le logiciel. **USIM PAC** est livré avec un compilateur FORTRAN.

Cette formule permet de concilier le besoin de certains acquéreurs d'introduire leurs propres modèles dans le logiciel, et la possibilité pour les auteurs du logiciel de fournir une garantie contractuelle sur le code livré.

USIM PAC est livré avec 34 modèles, pour 20 opérations unitaires, listés tableau 1.

Une présentation détaillée des options d'USIM PAC se trouve en annexe 3.

TABLEAU DES MODELES CONTENUS DANS USIM PAC

Opération unitaire	Modèle de simulation des performances	Modèle prédictif		
		1	2	3
Concasseur à mâchoires	X			
Concasseur (giratoire, cône Symons, cône standard cône à tête courte)	X			
Crible	X	X		
Classificateur à vis	X			
Broyeur à barres	X	X	X	X
Broyeur à boulets	X	X	X	X
Hydrocyclone	X	X	X	
Bancs de flottation	X	X	X	
Conditionneur		X		
Colonne de flottation	X			
Cyclone à milieu dense	X			
Jig	X	X		
Spirale	X	X		
Table à secousses	X	X		
Table à fines	X	X		
Séparateur magnétique	X			
Epaississeur	X			
Filtre	X			
Régulateur (de densité et de débit volumique)	X			
Répartiteur (en % et en débit)	X			

Figure 3.b-4 : Classification des modèles livrés avec USIM PAC

REFERENCES

(1) **BROUSSAUD A., BRACHET C., FOURNIGUET G., AUDOLI H. et LAPLACE G. (1986)**
Prédiction par simulation de l'influence de modifications de flowsheet sur les performances de l'usine de flottation de barytine de Chaillac (Indre - France).
Industrie Minérale - Mines et Carrières - Les Techniques, (juin) pp. 238-244.

(2) **CONIL P., BROUSSAUD A., NIANG S. et DELUBAC G. (1988)**
Utilisation d'un simulateur pour l'aide à l'évaluation d'hypothèses d'évolution d'un atelier de concentration à l'usine de phosphate de Taïba (Sénégal).
Industrie Minérale - Mines et Carrières - Les Techniques, (janvier-février) pp. 21-29.

(3) **BROUSSAUD A. (1988)**
Advanced Computer Methods for Mineral Processing : their Functions and Potential Impact on Engineering Practices.
XVI International Mineral Processing congress, Stockholm, Sweden, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1988. Juin 5-10, pp. 17-44

(4) **BROUSSAUD A. and ALBERA F. (1986)**
Selection of a Model for the Simulation of a Pilot Plant rod mill. IFAC (International Federation of Automatic Control). Automation in Mining, Mineral and Metal Processing. 24-29 Août 1986. Tokyo Pergamon Press, pp. 148-153.

(5) **BROUSSAUD A. and ALBERA F. (1987)**
Models of Selective Grinding and Mineral Liberation in rod and ball mills form Mineral Processing Plant Simulation.
Process Mineralogy VII, the Metallurgical Society AIME, Warrendale, 1987, pp. 551-571.

(6) **BROUSSAUD A., GUILLANEAU J.C., FOURNIGUET G., CONIL P. and BLOT P.**
A Revolutionary Tool for Mineral Processing Plant Design and Optimization.
Paper presented at the AIME-SME, annual meeting, Las Vegas, (1989).

(7) **BROUSSAUD A., CONIL P., FOURNIGUET G., GUILLANEAU J.C.**
USIM PAC: premier logiciel intégré d'aide à la conception et à l'optimisation des usines de traitement des minerais.
Industrie Minérale - Mines et Carrières, p. 1-12, juillet 1989.

3.c. LE LOGICIEL DE DEVELOPPEMENT DU SYSTEME EXPERT

3.c.1. INTRODUCTION SUCCINCTE SUR LES SYSTEMES EXPERTS

3.c.1.1. Historique

Dès le début de l'ère informatique, les chercheurs dans ce domaine ont voulu représenter au niveau de l'ordinateur le cheminement de la pensée humaine.

Cependant, jusqu'à la fin des années 1960, les chercheurs se sont heurtés à la complexité de mise en forme d'une représentation générale de la pensée humaine, capable de s'adapter et de résoudre toute situation concrète.

Au début des années 1970, les premiers systèmes en intelligence artificielle virent vraiment le jour, lorsque les chercheurs se focalisèrent sur la résolution de problèmes circoncis à un domaine précis.

Le premier système expert fut développé vers 1975 à l'Université de Standford; ce système nommé **Dendral** était capable de déterminer une structure chimique inconnue à partir de données spectroscopiques, physiques ou chimiques. Ce programme développé en Fortran ne séparait pas encore très nettement les entités principales qui forment un système expert, à savoir la **base de connaissance** et le **moteur d'inférences**.

Un des premiers systèmes experts opérationnels connus est Mycin, spécialisé dans le diagnostic des maladies infectieuses et développé en 1976.

3.c.1.2. Evolution des systèmes experts

Les systèmes experts manipulent de nouveaux concepts. L'informatique traditionnelle de son côté utilise des algorithmes classiques de traitement de données numériques pour aboutir à un résultat précis. Ces algorithmes sont toujours figés et ne résolvent qu'un type de problème.

Les systèmes experts quant à eux manipulent des données non seulement numériques mais aussi **symboliques**. S'ils sont appliqués à un domaine précis, les analyses et conclusions sont variables selon des données initiales, le contexte dans lequel le problème doit être résolu.

Cet outil de l'intelligence artificielle, encore l'apannage des chercheurs au début des années 1980, s'est vite banalisé avec l'essor informatique et devient actuellement un véritable outil dans le monde de l'entreprise, tant en gestion-management (systèmes intelligents d'aide à la décision) que dans le contrôle de fabrication et de procédés.

3.c.1.3. Les systèmes experts et le contrôle de procédé

L'utilisation des systèmes experts dans le contrôle de procédé est de plus en plus courante, constituant un niveau **"intelligent"** dans le système général de l'automatique en place.

Trois utilisations "classiques" peuvent être énumérées:

- **l'utilisation d'un système expert comme "superviseur" intelligent de procédé.** A partir de données relevées sur le procédé, le système analyse la situation et conseille à l'opérateur, ou réinjecte directement vers le procédé, un nouveau jeu de valeurs pour les consignes à modifier sur le procédé,

- **l'établissement par un système expert d'un diagnostic du procédé à partir de l'analyse des qualités du produit final**, et le conseil en vue de corrections sur le procédé pour obtenir une qualité conforme aux normes,

. enfin, **les systèmes experts sont également utilisés couplés avec des outils de modélisation du procédé.** Les modèles utilisés sont "interrogés" lorsque les valeurs relevées sur les procédés sont en dehors de l'échelle acceptable. Le système expert "dialogue" alors avec le modèle pour prévoir de nouvelles valeurs de réglage.

Les systèmes experts sont très répandus dans le milieu de l'industrie chimique (réglages de boucles PID, gestion d'un système de contrôle, diagnostic). En minéralurgie, des applications ont également été réalisées: on peut citer un système de diagnostic de table à secousses [1], un système d'aide à la valorisation du mica [2], le contrôle de lignes de broyage [3].

3.c.2. STRUCTURE GENERALE D'UN SYSTEME EXPERT

Un système expert est constitué de 3 éléments principaux:

- la base de connaissance:

elle contient la connaissance concernant le domaine étudié. Ces connaissances sont codées sous formes de règles de productions de type SI... Alors...

- le moteur d'inférence:

c'est le noyau du système expert. Il manipule le contenu de la base de connaissances et de la base des faits pour conduire des déductions (inférences) et arriver à certaines conclusions pour une situation donnée.

- la base de faits:

elle décrit la phase initiale d'une situation à l'aide de valeurs numériques ou symboliques; au cours de l'inférence ces valeurs sont réévaluées et modifiées.

Les systèmes experts opérationnels sont aujourd'hui configurés à partir d'outils de développement. Aussi d'autres éléments informatiques gravitent autour des trois éléments de base décrits ci-avant (cf. figure 3.c-1).

Ces outils aident d'une part le développeur à réaliser la base de connaissance et à contrôler sa cohérence, et d'autre part l'utilisateur final à exploiter le système.

La méthodologie générale à suivre pour développer un système expert sera décrite dans le chapitre concernant l'application industrielle (chapitre 5).

3.c.3. L'OUTIL DE DEVELOPPEMENT NEXPERT-OBJECT

De nombreux outils de développement de systèmes experts sont utilisés sur des mini ordinateurs. Cependant depuis plusieurs années ont été conçus des générateurs de systèmes experts performants sur micro-ordinateur.

Le générateur retenu pour le développement du système expert dans le cadre de notre projet est le produit NEXPERT-OBJECT, développé aux USA par la société NEURON-DATA et distribué par la société EDIAT, implantée à Boulogne.

Le choix du produit est en partie lié à son fonctionnement dans l'environnement WINDOWS sélectionné pour le système ANPROC.

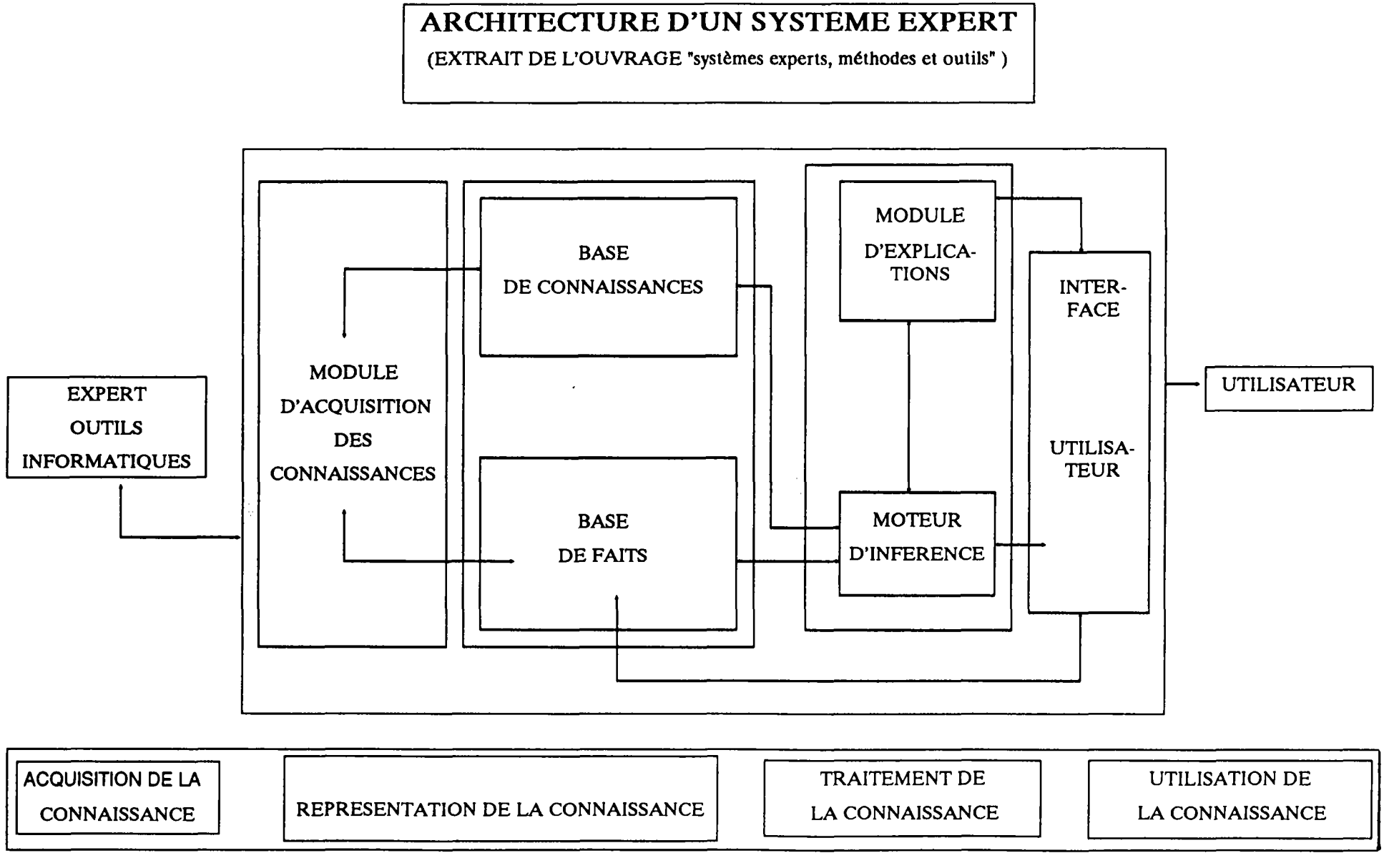
Le logiciel NEXPERT-OBJECT représente le "haut de gamme" des générateurs fonctionnant sur micro-ordinateurs compatibles IBM/PC (il est disponible également pour stations VAX et micro-ordinateurs MACINTOSH). Il est à classer parmi les "systèmes hybrides", c'est à dire à représentation de connaissance mixte (règles et objets).

Les différentes parties de l'outil de développement seront décrites ici en introduisant des concepts spécifiques à l'intelligence artificielle.

3.c.3.1. La base de connaissances de NEXPERT-OBJECT

Le but de l'intelligence artificielle est de **simuler le mode de raisonnement d'un expert humain,** dans un domaine précis. Deux notions fondamentales pour les ingénieurs de NEURON DATA entrent dans le mécanisme de réflexion d'un expert [4]: "la façon dont les choses sont mais aussi la façon avec laquelle elles sont perçues". Chaque élément de réflexion dépend d'un nombre important de facteurs que l'expert repère dans son propre "espace cognitif". Un raisonnement n'est construit que par rapport à une situation donnée; à chaque nouvelle étape de raisonnement une situation nouvelle est à reconsidérer. La représentation des faits et des connaissances ne doit pas s'écarter de la structuration et du mode de raisonnement de l'humain, encore dénommé expert dans le domaine de l'intelligence artificielle.

Figure 3.c-1: Structure d'un outil de développement de système expert (Référence: "Systèmes experts": systèmes et outils - J.M. Chatain, A. Duchaussoy, p. 14)



Cet espace cognitif est représenté au niveau de NEXPERT-OBJECT par deux **réseaux** ou **plans**. Le premier, **réseau des objets,** décrit les faits d'une situation observée à un instant t. Il contient également et une représentation de concepts utilisés par l'expert du domaine. Le deuxième, **réseau de règles**, est constitué de règles de production qui manipulent les objets. Ces règles constituent des heuristiques représentant le savoir de l'expert.

3.c.3.2. Le réseau des objets

Les objets sont des concepts de connaissance manipulés par l'expert du domaine. Pour bien assimiler cette notion le plus simple est d'utiliser un exemple.

Un ingénieur minéralurgiste, dans une étape de séparation utilise des notions concernant des opérations unitaires spécifiques: cyclones, cribles... Il décrit le procédé en se référant à des granulométries, des débits en sousverse, ou en surverse d'un appareil. Cette représentation pourra être classée comme l'indique la figure 3.c.2.

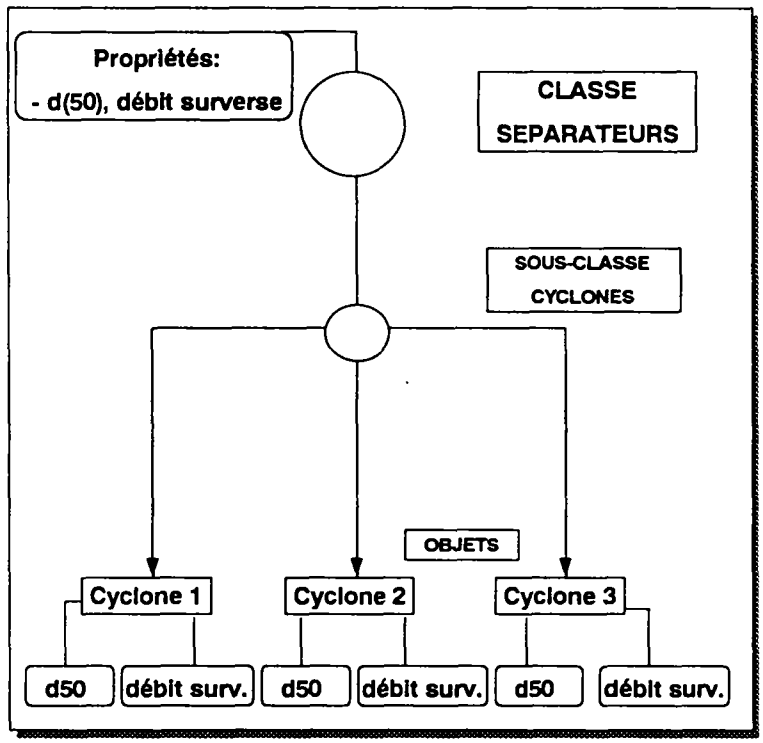


Figure 3.c.2: Exemple d'arborescence dans un réseau d'objets

Trois notions sont importantes dans la représentation sous forme d'objets:

- la **classification** ou structuration en ensembles: les connaissances sont classées en ensembles de la même façon que ces connaissances sont répertoriées dans l'esprit de l'expert du domaine étudié.

- à chaque **objet** peut être attribué un certain nombre de **propriétés** ou **attributs** dont les valeurs sont soit symboliques soit numériques. Ces propriétés peuvent être attribuées à une classe et être **héritées** par tous les objets de cette classe.

- enfin cette notion de propriétés induit bien **une base de faits** dans le sens où les valeurs de ces dernières sont modifiées lors de l'inférence, soit à partir de programmes externes à NEXPERT-OBJECT soit lors de l'exécution d'une règle.

3.c.3.3. Le réseau des règles

Les objets donnent donc une image statique de la connaissance et des faits à un instant donné pour la personne qui analyse un problème (par exemple: état du procédé à un instant t avec toute la représentation qu'en a l'ingénieur concerné). Il est ensuite nécessaire de relier ces connaissances pour pouvoir établir des conclusions. Ces dépendances sont transcrites à travers des règles qui de façon générale, en intelligence artificielle sont écrites sous la forme:

IF (premisse ou condition) THEN (conclusion et/ou action)

Dans NEXPERT-OBJECT, 2 aspects sont à relever:

a. la construction d'une règle
b. l'agencement des règles, dans la base de connaissances.

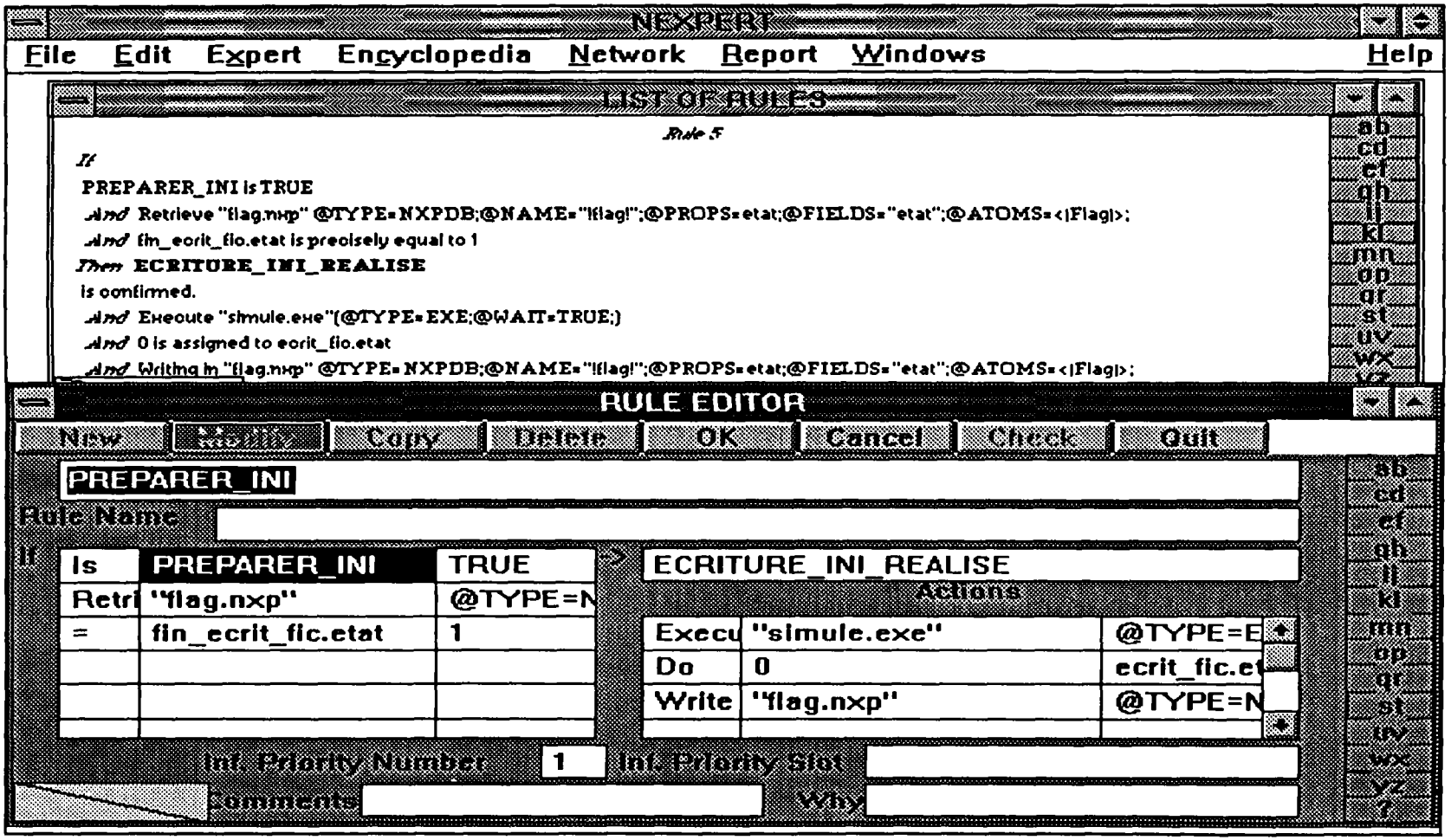
a. La construction d'une règle

Chaque règle est constituée de **2 parties:**

- une partie **gauche** contient les conditions. Ces dernières doivent être vérifiées pour que la règle soit applicable. La conclusion est alors considérée comme "vraie".

- une partie **droite** contient la déclaration de la conclusion. Si cette dernière est vraie, les actions éventuellment déclarées dans cette même partie sont mises en oeuvre. Ces actions permettent de lire des fichiers, d'exécuter des programmes externes à NEXPERT OBJECT.

Figure 3.c3-: Construction d'une règle à partir du système de développement de NEXPERT OBJECT



b. L'agencement des règles dans la base de connaissance

Les règles peuvent être regroupés en **ilôts de connaissance**. Chaque îlot est scruté indépendamment l'un de l'autre suivant les fonctions attribuées à chacun d'entre eux. L'exemple de la structuration de la base de règles dans le cas du système appliqué au contrôle d'un atelier fournira une compréhension claire de la gestion de ces règles (voir chapitre 5).

Dans chaque îlot, les règles sont définies en réseau où elles sont fortement liées:

Par exemple soient 2 règles:

$A \rightarrow B$ (1)
$B \rightarrow C$ (2)

la règle (2) ne peut être vérifiée que si la première règle est confirmée.

3.c.3.4. Le moteur d'inférence

Dans tout système expert le moteur d'inférence est le cerveau du système. Il scrute les règles de deux manières:

- **soit en partant d'un but prédéfini**. Il établit alors un chaînage arrière, c'est à dire qu'il contrôle toutes les premisses dont dépend ce but (ces premisses sont considérés comme de nouveaux buts à atteindre),

- **soit en partant d'un état initial.** Il scrute toutes les règles dont les premisses sont vérifiées et les applique pour aboutir à de nouvelles conclusions.

Dans NEXPERT-OBJECT, les deux systèmes de propagation sont applicables, le chaînage mixte est possible.

Il gère d'autre part le passage de paramètres entre les classes et les objets. Il permet ou non, suivant la configuration, l'héritage des propriétés d'une classe aux objets qui y sont définis.

Il contrôle la scrutation des règles à l'intérieur de chaque îlot de connaissances. Lorsqu'un îlot a été appliqué, il passe suivant la stratégie définie par le concepteur à l'îlot de règles à tester.

3.c.3.5. Mise en place d'une application NEXPERT-OBJECT

Le système de développement de NEXPERT-OBJECT est une application WINDOWS. Il permet de définir une base de connaissances, et tester sa cohérence. Une partie des outils de développement sont graphiques et permettent une visualisation de l'ensemble de la base de connaissance et des règles instanciées lors des inférences du système. La figure 3.c-4 donne un aperçu des outils graphiques disponibles pour le développeur d'une application.

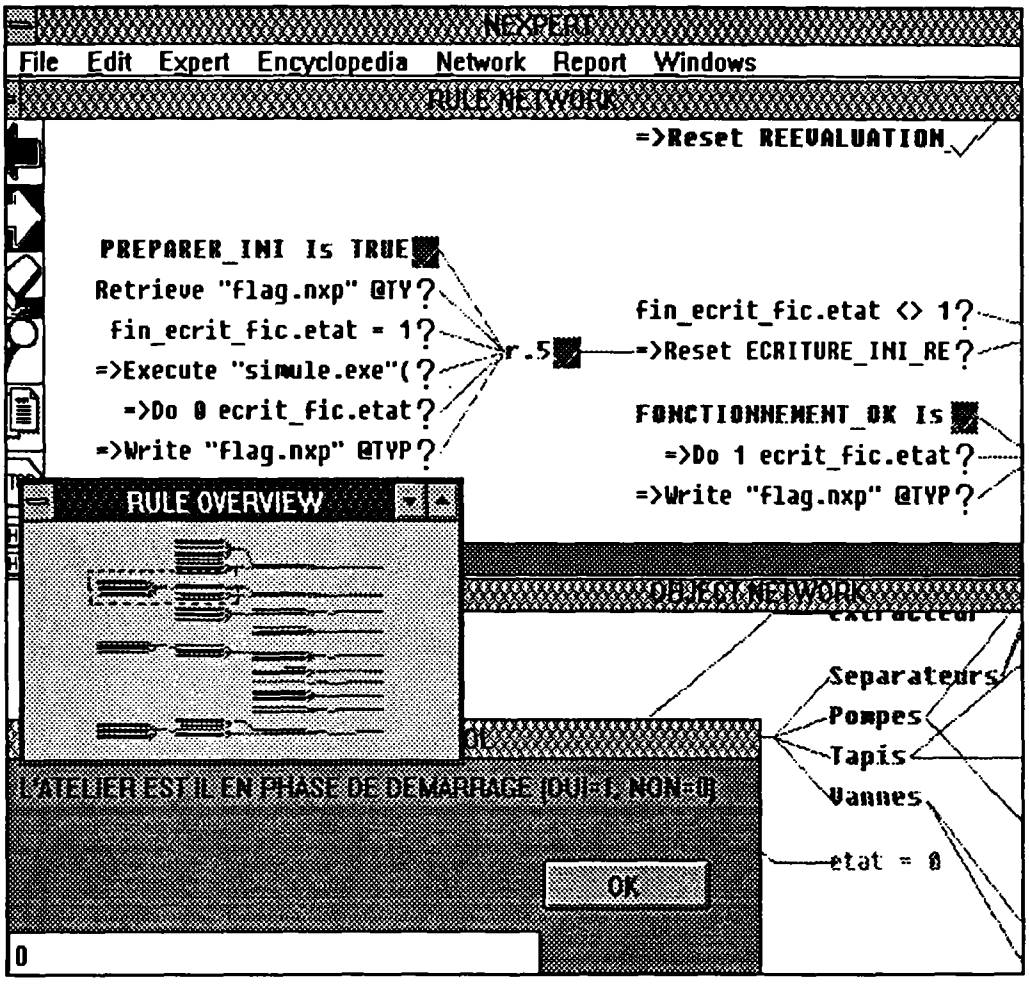


Figure 3.c-4: Interface de développement de NEXPERT-OBJECT

Pour une application opérationnelle, le système [base de connaissance, moteur d'inférence] est non modifiable et caché. Il est nécessaire de développer une interface qui permette un dialogue entre l'utilisateur et le système expert.

REFERENCES

[1] **P. TUCKER and K.A. LEWIS**
An Expert System for Shaking Table Diagnostics.
Minerals Engineering - Vol. 2 - n° 1 - pp. 87-92 - 1989.

[2] **J.H. MARCHAL, G.V. SULLIVAN and A.R. DE KOCK**
Prototyping an Expert System Consultant for Mica Benefication.

[3] **S.L. JAMSA**
Experiences in the Use of Expert System in Grinding Process Control in Siilinjarvi Concentrator.
XVI International Mineral Processing Congress, Elsevvier Science Publishers B.V., Amsterdam 1988, pp. 1759-1770.

[4] **NEURON-DATA**
Nexpert-Object manual version 1.1.

[5] **J.M. CHATAIN, A. DUSSAUCHOY**
Systèmes Experts - Méthodes et outils - p. 14.
Editions Eyrolles.

4. AVANTAGES DU SYSTEME REALISE

La description de la structure développée dans le cadre de ce projet met en évidence sa modularité, sa facilité de configuration pour une application donnée. D'un point de vue contrôle automatique les concepts d'utilisation de simulateur statique et d'un système expert sont novateurs à plusieurs titres.

4.A. UTILISATION D'USIM PAC EN LIGNE COMME OUTIL DE CONTROLE D'UN PROCEDE MINERALURGIQUE

4.a.1. RAPPEL DES PREOCCUPATIONS AUXQUELLES USIM PAC PEUT REPONDRE DANS LE CADRE D'UNE USINE EXISTANTE

L'exploitant d'une usine existante peut à l'aide d'un outil tel qu'USIM PAC, réaliser des tests sur la modification du schéma de traitement déjà existant, étudier le comportement de ses appareils (leurs performances) suivant des variations des débits ou de granulométrie du minerai à traiter.

L'utilisation d'un outil tel qu'USIM PAC lui permet d'avoir **une description de tous les flux** (débits et granulométries) et nombre d'informations sur le **fonctionnement des appareils** (énergie consommée par un broyeur, points de coupures et soutirage pour des appareils de séparations...). Cette description correspond à un régime permanent.

De manière générale, le contrôle d'un atelier de traitement est rendu difficile notamment par les **fortes variations** de **composition du minerai** à traiter (établissement d'un rendement fiable, échantillonnage difficile de certains flux). L'utilisation d'un logiciel de simulation permet en suivant une méthodologie très précise (cf. chapitre 3.b) de recalculer des flux n'ayant pu être échantillonnés et d'établir des bilans matière cohérents représentatifs d'un point de fonctionnement stable de l'atelier.

4.a.2. APPORTS DE L'UTILISATION D'UN OUTIL DE SIMULATION EN LIGNE

Dans un atelier de traitement minéralurgique les informations relevées sur le procédé sont de deux types:

- **tout ou rien** pour le fonctionnement des appareils,
- **numériques** concernant certains paramètres essentiels à l'opérateur, pour un contrôle de l'atelier.

Ces dernières sont en général peu nombreuses et ne permettent pas d'établir en un seul "coup d'oeil" sur tous les capteurs numériques un "état des lieux" quant au fonctionnement de l'atelier (contrôle de dérives lentes, pertes de rendement).

A ces contrôles automatiques, viennent s'ajouter des contrôles plus ou moins réguliers (quotidiens, hebdomadaires) du personnel de laboratoire en charge de vérifier la qualité du concentré ou d'établir un bilan complet sur l'atelier pour y contrôler le rendement.

Utilisé en ligne, un outil de simulation apporte des aides significatives à plusieurs niveaux:

- il donne une **représentation complète de l'atelier**: tous les flux sont recalculés à partir du moment où le flux d'entrée est connu. Le comportement des appareils est décrit dans le détail. Ces informations permettent également de diagnostiquer rapidement un capteur en panne ou non étalonné,

- **il permet de constater les dérives lentes du procédé lié à des dérèglements ponctuels** de certains appareils. En effet le simulateur est calibré à l'aide de données représentant un fonctionnement en régime permanent stable. Un comparaison régulière des valeurs réelles du procédé par rapport à ce fonctionnement stable permet de noter ces dérèglements et d'agir rapidement pour revenir à un fonctionnement raisonnable,

- il donne **une représentation instantanée de tous les flux**. Les résultats liés à une simulation sont **prédictifs**. Dans un atelier de traitement les temps de séjour des produits sont importants. L'exploitant agit en général en se basant sur les qualités du produit final. Si les normes ne sont pas respectées, l'exploitant ne peut plus agir sur le traitement du produit déjà en circulation dans l'atelier. Les résultats de la simulation à partir de la composition du minerai entrant dans le circuit lui permet de prévoir si le produit final aura une qualité conforme à ses **normes**.

4.B. UTILISATION D'UN SYSTEME EXPERT EN LIGNE COMME OUTIL DE CONTROLE D'UN PROCEDE MINERALURGIQUE

L'utilisation des systèmes experts est devenu un outil de plus en plus utilisé dans le contrôle de procédés. Les principales nouveautés qu'ont apporté les systèmes experts doivent être rappelées avant d'établir plus précisément les intérêts de leur utilisation en ligne.

Ces outils informatiques apportent des potentiels nouveaux à divers titres:

- ils contiennent un savoir concernant un domaine précis. Ce savoir est structuré de manière à reproduire **simplement** et **efficacement** le raisonnement d'un expert dans le domaine étudié,

- ils manipulent des données symboliques; ils permettent une description directe de faits observés dans une situation donnée. Ces observations peuvent être définies par des termes issus simplement du langage naturel. Cette possibilité permet la génération d'une interface **conviviale** avec l'utilisateur.

L'utilisation d'un système expert connecté en ligne sur le procédé, en tenant compte des observations précédentes, présente des intérêts multiples:

- **l'opérateur a à sa portée une aide qui contient un raisonnement construit et justifié** (tous les systèmes experts retracent et explicitent le cheminement de leur "pensée" lors d'une inférence). Il peut ainsi bénéficier notamment de **conseils avertis** équivalents à ceux donnés par un cadre en charge du contrôle et du bon fonctionnement du procédé.

- **la manipulation de "données" symboliques permet un dialogue simple et une "humanisation" de l'outil informatique de contrôle, vis à vis de l'opérateur**, ce dernier ayant souvent des craintes justifiées lors de l'implantation de nouvelles techniques. Le développement du système doit être suffisamment élaboré pour que l'**interface** avec l'utilisateur soit **convivial, clair** et **simple**. Le système doit être efficace et bien accepté sur le lieu de travail, utiliser le **même vocabulaire** et les **mêmes concepts** que les opérateurs.

- les conseils apportés pour la conduite du procédé, sont d'une aide précieuse pour diriger l'opérateur dans les premières tâches à réaliser pour optimiser sa conduite lorsque les paramètres de contrôle du procédé sont en dehors des normes. Il soulage par la même occasion le travail du chef de poste qui devient plus disponible pour d'autres tâches de supervision; ce dernier point est d'autant plus valable dans le cas de l'embauche et la formation de nouveaux opérateurs qui n'ayant pas une forte expérience concernant le procédé trouvent auprès de cet outil un support précieux.

4.c. ASSOCIATION DES DEUX OUTILS EN LIGNE DANS UNE MEME STRUCTURE LOGICIELLE

Chaque outil apporte à la structure un aspect **novateur**, un traitement spécifique de l'information relevée sur le procédé.

- La **simulation** d'un point de vue description quantitative, apporte un grand nombre d'**informations numériques dans la description des flux et des appareils**. Elle peut remplacer dans certains cas, le manque de capteurs spécifiques, trop coûteux, ou inexistants.

- **Le système expert a un rôle de conseil et de communication avec l'opérateur** pour la conduite de l'atelier.

Il est cependant difficilement concevable de dissocier ces deux outils pour l'utilisation cohérente et optimale du système en ligne.

En effet:

- l'utilisation optimale d'un simulateur statique nécessite un suivi rigoureux de méthodologies définies dans le chapitre 3.b,

- la cohérence des résultats doit être contrôlée à chaque étape de cette méthodologie. Ces résultats doivent être comparés aux situations réelles de l'usine. En effet les résultats sont liés à la précision des données initiales (nature de l'erreur de l'échantillonnage, des méthodes d'analyse des échantillons), aux limites de validation du simulateur.

L'utilisation d'un module expert couplé avec l'outil de simulation permet d'exploiter de manière fiable et instantanée les résultats des simulations. Il se substitue à deux experts:

- il **contient** en effet **dans sa base de connaissance le savoir d'un utilisateur expérimenté de l'outil de simulation** et les règles générales qu'il faut suivre pour mettre en oeuvre et gérer l'outil de simulation. Ainsi en cas de résultats non cohérents il peut remettre en question le calibrage autour du point de fonctionnement, et redemander un autre jeu de données pour adapter le simulateur aux conditions opératoires du moment. Les premières questions que se posent un utilisateur d'un outil de simulation statique sont réécrites sous forme d'heuristiques à l'intérieur de la base de connaissances.

- d'autre part, **cette base de connaissance représente en partie le savoir et l'expérience de l'exploitant** ce qui permet de réaliser une analyse en temps réel de l'état du procédé ainsi que de comparer les résultats de la simulation et les valeurs réelles relevées par les capteurs. Cette approche doit permettre d'anticiper les dérives de procédé et de remettre en question ses réglages.

Cette utilisation couplée de ces deux outils représente la partie novatrice du système développé.

Il est enfin possible de réaliser à partir du système expert des calculs donnant des grandeurs en temps réel de paramètres essentiels pour la production (calculs de rendement générés automatiquement à partir de résultats de simulation).

4.D. ASPECT MULTITACHE DU SYSTEME

Le système tel qu'il a été conçu, présente la caractéristique d'être multitâche, c'est à dire de permettre l'exécution simultanée sur une même machine d'une série de tâches se déroulant en parallèle.

Ce type de fonctionnalité est encore relativement peu exploité si on considère le nombre total de machines de type compatible IBM/PC qui sont installées. (La plupart fonctionnent toujours sous MS-DOS en mode mono-tâche, même si ceci est probablement amené à changer de plus en plus rapidement).

La capacité multitâche du système provient des caractéristiques de l'environnement d'exploitation sur lequel il s'appuie, c'est à dire WINDOWS dans son mode 386 étendu.

Le mode multitâche offert par WINDOWS est très "éclectique". En effet, WINDOWS permet non seulement aux applications écrites spécifiquement pour lui, de fonctionner en parallèle grâce à une multitâche de type "coopératif" établit à l'intérieur de la première "machine virtuelle" que le gestionnaire du mode 386 a créé, mais, en plus, il permet de faire fonctionner à peu près n'importe quelle application "DOS standard" existante en parallèle avec le reste du système grâce aux diverses "machines virtuelles" générées par le gestionnaire du mode 386; "machines virtuelles" entre lesquelles une multitâche de type "préemptif" est établit. (Pour une discussion plus approfondie des types de multitâches offerts par WINDOWS et de "machines virtuelles" du processeur 80386, se rapporter au chapitre sur WINDOWS).

S'ajoute à cela, la possibilité de multi-fenêtrage en mode graphique des diverses applications. En effet, les applications fonctionnant dans l'arrière-plan ont malgré tout accès à une partie de l'écran délimitée par leur propre fenêtre principale et on est capable de visualiser simultanément l'état des diverses applications en cours d'exécution au sein du système.

Dans le système réel développé, on retrouve des applications d'un peu tous les types.

Le module "base de données", le module de communication avec le superviseur FIX, les modules "moulinettes" d'interfaçage du système expert et du simulateur, ainsi que les modules de rapportage et d'interface opérateur sont des applications spécifiques WINDOWS. Il en est de même du système expert NEXPERT-OBJECT. Entre toutes ces applications s'établit donc un partage des capacités de la machine de type "coopératif" ou "non-préemptif" à l'intérieur de la première "machine virtuelle" du mode 386.

Le module de simulation est lui une application de type "DOS standard". Celle-ci est installée dans une seconde "machine virtuelle" du mode 386. Entre les deux "machines virtuelles" est établit une multitâche de type "préemptif".

5. APPLICATION INDUSTRIELLE

5.A. PRESENTATION DE LA SOCIETE DES KAOLINS D'ARVOR ET DE L'ATELIER CIBLE RETENU POUR L'UTILISATION D'ANPROC

5.a.1. LA SOCIETE DES KAOLINS D'ARVOR

La société des Kaolins d'Arvor est implantée en Bretagne (France) près de Lorient, sur le site de Kergantic. Elle fut créée en 1919.

Elle exploite plusieurs carrières près du littoral, le minerai extrait contenant 2 minéraux valorisables:

- **le kaolin**: silicate d'alumine provenant de la décomposition du feldspath contenu dans le granit. Le kaolin, une fois traité, est destiné à l'industrie céramique et surtout à l'industrie papetière: dans le dernier cas le kaolin est utilisé comme charge en masse, ou comme pigment de couchage apportant au papier ses qualités de surface,

- **le mica muscovite**: silicate d'alumine de potassium et de potassium hydraté; minéral lamellaire qui trouve son application dans de nombreuses industries: peintures, enduits, matériaux composites...

En 1989, elle a produit 75 000 tonnes de kaolin et 5 000 tonnes de mica.

Outre la production de ces 2 minéraux, la société des Kaolins d'Arvor, réalise grâce à son expérience dans le traitement de ces minerais, des travaux d'engineering, d'évaluation de nouveaux gisements, l'étude de procédés de traitement de matières diverses.

5.a.2. LES ETAPES DE TRAITEMENT - DESCRIPTION SUCCINCTE DU SITE D'EXPLOITATION

5.a.2.1. Le minerai de base

Ce dernier est extrait à partir de différentes carrières et contient essentiellement trois espèces minérales: quartz, mica et kaolin.

Le minerai est homogénéisé avant le traitement, ceci afin d'assurer l'alimentation de l'usine par un minerai de composition aussi constante que possible.

Les différentes étapes de ce traitement doivent apporter aux produits leurs normes de qualité respectives à savoir:

* pour le kaolin:
  - granulométrie,
  - viscosité,
  - blancheur,

* pour le mica:
  - normes de granulométrie essentiellement.

5.a.2.2. Description succincte du traitement

Les espèces minérales sont tout d'abord **séparées par voie humide** grâce à différents appareils de classification (cyclones, râteaux classificateurs à râteaux ...). Ce premier atelier de délayage sera décrit dans le détail par la suite.

Les 2 produits valorisables sont ensuite traités dans 2 chaînes différentes.

* le kaolin 0-20 µm:

Après avoir été épaissi dans des bassins de décantation, la pulpe est envoyée vers un atelier de classification pour séparer 2 types de produits:

- un kaolin fin: 0-7 µm qui sera destiné au **couchage** du papier,
- un kaolin plus grossier destiné à la **charge** du papier.

Ces deux produits sont par la suite traités dans deux chaînes d'ateliers équivalents pour obtenir leurs qualités finales:

- un blanchiment chimique enlève au minéral sa couleur jaunâtre,
- une filtration puis un délaminage apportent au produit ses qualités rhéologiques,
- le produit est finalement séché pour obtenir un produit final à 10 % d'humidité. Ce dernier est conditionné sous forme de bâtonnets et livré en sacs ou en vrac. Il est parfois également remis en pulpe pour éviter au papetier cette première préparation du kaolin avant utilisation.

* Le mica:

A la sortie de l'atelier de séparation, le mica est encore mélangé à des sables fins. Le tout est envoyé vers un banc de flottation. Le mica est récupéré dans les mousses et filtré sur filtre à bande.

L'eau résiduelle est éliminée par séchage dans un four rotatif. Les paillettes de mica sont ensuite broyées par "autochoc" dans un broyeur à air comprimé. Les différentes qualités sont séparées puis stockées dans des trémies avant conditionnement en sacs.

5.a.2.3. Description détaillée de la première étape de traitement: l'atelier de délayage

Dans ce premier atelier de traitement, les principales opérations réalisées sont les séparations des espèces minérales.

Le minerai est tout d'abord expédié vers un trommel débourbeur afin de :

- mettre en pulpe le minerai,
- effectuer une première coupure à 3 mm et d'éliminer les gros blocs.

La deuxième coupure est réalisée par l'intermédiaire d'un râteau classificateur qui permet l'élimination des sables grossiers (coupure à 500 microns).

Un circuit de cyclones traite ensuite la surverse du râteau classificateur:

- un cyclone primaire effectue une première séparation mica-kaolin à 80 microns,
- une batterie de cyclones secondaires réalisant une coupure plus fine (15 μm) élimine les dernières particules de mica ou de sable fin. Il existe en fait deux batteries en parallèle constituées chacune de 10 cyclones. Le nombre de cyclones ouverts est variable suivant les conditions de fonctionnement de l'atelier. Ces ouvertures/fermetures sont contrôlées manuellement.

Un des critères de qualité du produit final est la granulométrie. Le lait kaolinique ne doit contenir que 0,2 % en poids de particules supérieures à 45 microns. En fin de circuit de retraitement, des panneaux tamiseurs réalisent une coupure quasi-parfaite à 40 microns pour assurer cette qualité.

Il est à noter que la sousverse du cyclone primaire est retraitée dans un deuxième cyclone pour minimiser la perte en kaolin.

Le délayage, comme la plupart des ateliers de l'usine fonctionne 24 heures sur 24 en trois postes de huit heures.

5.B. DESCRIPTION DE LA STRUCTURE AUTOMATIQUE CLASSIQUE EN PLACE DANS L'ATELIER DE DELAYAGE

5.b.1. AU DEMARRAGE DU PROJET

De manière générale dans l'automatisation d'un atelier, on retrouve différents niveaux:

- le **premier niveau** concerne les capteurs, les actionneurs et les boucles de régulation locales,

- le **second niveau** comprend le "maître d'oeuvre" du contrôle automatique: l'**automate programmable**. Ce niveau gère l'ensemble de l'atelier dans un contrôle automatique fiable et cohérent. L'automate gère le démarrage et l'arrêt de l'atelier, transmet sur imprimante les messages d'alarme lorsqu'un appareil est arrêté. Il gère la remise en route de la partie de l'atelier concerné par la panne.

Aux Kaolins d'Arvor, l'aspect contrôle de l'atelier était assuré en 1988 par un automate de marque allemande Festo 404. Cet automate est programmé en basic. Il gère le démarrage et l'arrêt de l'atelier ainsi que l'arrêt et la remise en route des appareils concernés lorsqu'un incident mécanique intervient dans l'atelier.

Les capteurs numériques, peu nombreux, ne sont pas ramenés vers l'automate mais ont une interface spécifique pour l'affichage des valeurs.

En se référant au flowsheet, les capteurs numériques sont principalement installés à l'entrée de l'atelier:

- mesure du débit de terre instantané,
- mesure du débit de terre cumulé,
- mesure de la vitesse de l'extracteur,

et sortie, sur le flux principal contenant le kaolin:

- mesure du débit volumique,
- mesure de la densité de pulpe (lait kaolinique).

Ces valeurs relevées à intervalle régulier (1 heure) par l'opérateur donnent une valeur du débit de minerai traité et du kaolin produit, chiffres essentiels pour la gestion de production de l'atelier.

A l'entrée de chaque cyclone, on trouve d'autre part un pressiostat, n'ayant aucune interface dans la salle de contrôle.

Enfin, un synoptique classique permet de suivre les appareils en fonctionnement ou à l'arrêt, et à partir d'un pupitre, il est possible en cas de problème inhérant à l'automate de commander manuellement chaque appareil (marche/arrêt).

La seule action de commande numérique renvoyée vers l'atelier est la "consigne de terre" qui agit sur la vitesse de l'extracteur. Cette commande permet ainsi la régulation du débit de terre.

En conclusion, en 1988, les niveaux classiquement nommés 1 et 2 étaient en place dans l'atelier, mais les informations n'étaient ni centralisées ni stockées. La visualisation du procédé était très rigide (en cas de modification de flowsheet, les changements de synoptique sont très coûteux).

5.b.2. MODIFICATIONS APPORTEES AU SYSTEME AUTOMATIQUE DEJA EN PLACE

Cette phase ne fait pas partie du projet en lui-même. Par contre elle était indispensable pour la possibilité de mise en place du système développé dans le cadre du contrat. **Les problèmes rencontrés et résolus pendant cette période sont cependant cruciaux pour tout projet d'automatisation d'usine**; cette phase fut très enrichissante c'est pourquoi elle est citée ici.

L'objectif est de ramener toutes les entrées automatiques de l'atelier (tout ou rien et analogiques) vers un poste centralisant ces informations sur ordinateur. La gestion de ces informations est réalisée par l'intermédiaire d'un outil logiciel nommé **système de supervision.**

Le logiciel retenu dans le cadre du projet est le progiciel "FIX" développé et commercialisé par la société américaine INTELLUTION.

5.b.2.1. Présentation générale de l'outil de supervision FIX

Le logiciel FIX est un logiciel de contrôle configurable à une application donnée; les principales fonctions de ce système sont les suivantes:

- visualisation instantanée de l'état du procédé sur synoptiques, à l'écran (état des appareils, valeurs numériques, visualisation de l'évolution des paramètres principaux),
- visualisation des alarmes et prévention auprès de l'opérateur,
- stockage des données numériques et tout ou rien sur disque,
- génération de rapports à partir de données stockées.

La figure 5.b-1 présente la structure générale du logiciel. Les différentes fonctions sont gérées en multitâche lors du fonctionnement de ce dernier. Cette gestion des tâches se fait autour d'une base de données contenant les mêmes entrées et sorties que l'automate.

5.b.2.2. Intégration du système de supervision dans la structure automatique en place sur le site

Deux aspects majeurs sont à prendre en compte dans l'intégration d'un système de contrôle tel que le FIX sur le site industriel:

- **sa compatibilité** et **sa capacité de communication** avec **les autres appareils de contrôle** de l'atelier (automate, cartes analogiques),

- la structure informatique générale envisagée pour le contrôle de la gestion de production dans l'usine et la place du poste mis en place, par rapport à cette structure.

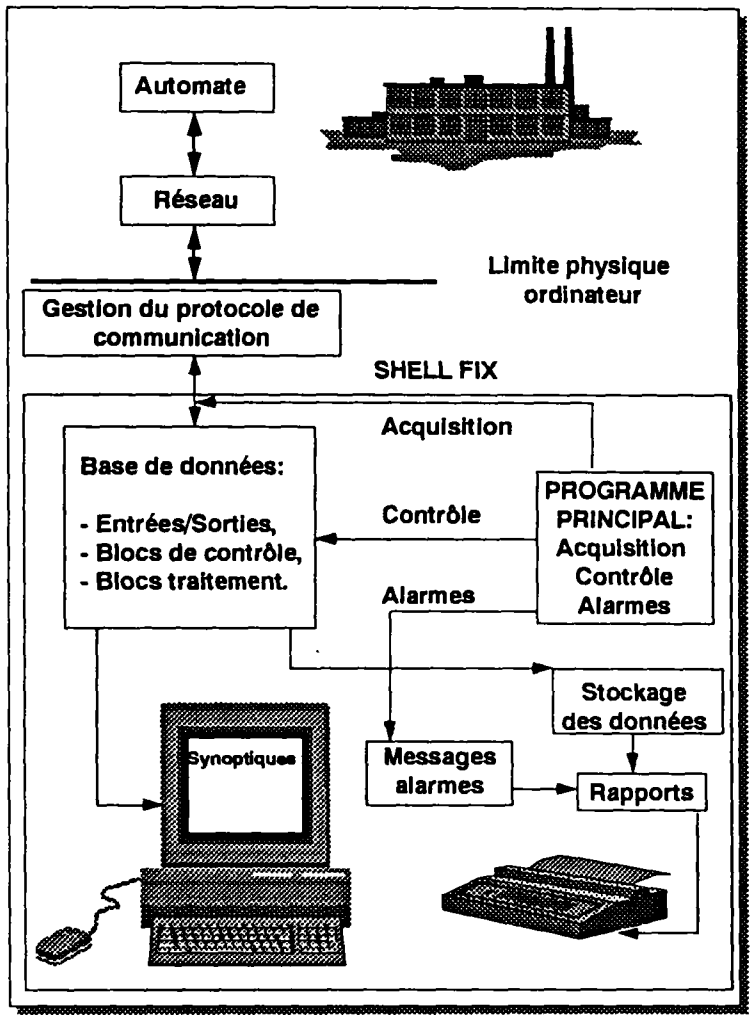


Figure 5.b-1: Structure du logiciel de contrôle de procédé FIX

Pour faire face à ces 2 impératifs, la connexion entre le micro-ordinateur supportant le FIX et l'automate fut établi à travers un réseau industriel, le réseau LAC développé par la société COMPEX.

Le réseau LAC est un réseau industriel de type hétérogène:

- industriel: il se permet la connexion des différents éléments de contrôle implantés dans une usine entre eux,

- hétérogène: la normalisation de l'échange des données sur le réseau permet d'y greffer des appareils de fonctions très différentes.

La gestion de l'échange de données entre automate et micro-ordinateur est réalisée par 2 logiciels ou "drivers" de communication. La compatibilité n'étant pas assurée entre le logiciel FIX et l'automate de type Festo, ces 2 programmes furent complètement développés.

La mise au point d'une communication fiable et suffisamment rapide entre les logiciels prit du temps et pénalisa le reste du projet, même si cette phase fut très fructueuse d'un point de vue suivi d'implantation d'un système classique d'automatisme. Elle était indispensable pour envisager la mise en place du système intelligent.

5.b.2.3. Configuration du logiciel FIX pour l'atelier de délayage

La figure 5.b-1 représente l'agencement du logiciel et ses différentes options. Pour l'atelier de délayage: la visualisation comprend plusieurs niveaux (voir annexe n° 4: manuel opérateur):

- une vue générale de l'atelier,
- des focalisations sur certaines parties de l'atelier avec affichage de valeurs analogiques,
- un suivi possible du démarrage.

Les données numériques sont stockées sur disque dur avec possibilité de les reprendre sous forme de rapports (par poste).

Enfin les alarmes déclenchées pour tout incident mécanique dans l'atelier sont redirigées vers une imprimante pour renseigner l'opérateur sur la localisation de la panne.

5.b.2.4. Introduction de l'outil informatique dans l'usine

Depuis quelques années, les moyens de l'informatique industrielle ont envahi l'entreprise, y compris dans le domaine de l'industrie du traitement des minerais. Il est primordial de considérer le changement de comportement des opérateurs dans leurs travaux journaliers, leur stress vis à vis de ces nouveaux outils [1].

Dans le cas de notre application, l'opérateur a accès à un mini clavier comprenant:

- un pavé numérique,
- un nombre de touches prédéfinies, lui permettant de gérer ses synoptiques.

La mise en confiance de l'opérateur passe, pour une bonne acceptation de l'outil, par une phase de formation sur site, en réalisant avec lui les opérations à effectuer pendant les postes.

5.c. STRUCTURE MATERIELLE POUR L'UTILISATION D'ANPROC

L'ordinateur destiné à supporter le système intelligent est de même type que celui supportant le logiciel de supervision FIX. Il est résistant aux vibrations, aux chocs, étanche en face avant. Ces choix sont imposés par le milieu très agressif dans lequel est implanté le système (humidité, poussières en suspension, vibrations ...).

Les caractéristiques techniques sont très strictes ceci afin de pouvoir utiliser de manière optimale l'environnement WINDOWS.

Ce micro-ordinateur industriel compatible IBM/PC de marque allemande KONTRON comporte un micro processeur 80386 et un coprocesseur 80387 avec:

- mémoire de masse: disque dur de 40 Mo,
- mémoire vive: 8 Mo de RAM.

D'un point de vue liaison entre l'ordinateur supervision et l'ordinateur supportant le système intelligent, le choix a été orienté vers l'utilisation d'un **réseau bureautique** chargé de transférer les informations contenues dans la base de données de FIX vers le deuxième ordinateur.

Cette orientation induit inexorablement des **choix stratégiques dans la société choisie pour implantation industrielle**. Il est nécessaire de choisir un produit satisfaisant les **contraintes propres au projet** (environnement logiciel sur les 2 ordinateurs), mais au delà répondant également **aux besoins de l'entreprise pour l'organisation informatique dans son ensemble**.

Il est donc primordial d'établir à ce niveau, par l'entreprise concernée, un cahier des charges aussi précis que possible pour répondre à ces orientations.

Dans le cadre de notre projet, la prise en compte de ces choix importants empêche l'implantation du système sur site.

Le système de contrôle dans son ensemble comprenant les deux ordinateurs, en cas de connexion en ligne, sera constitué matériellement comme le décrit la figure 5.c-1.

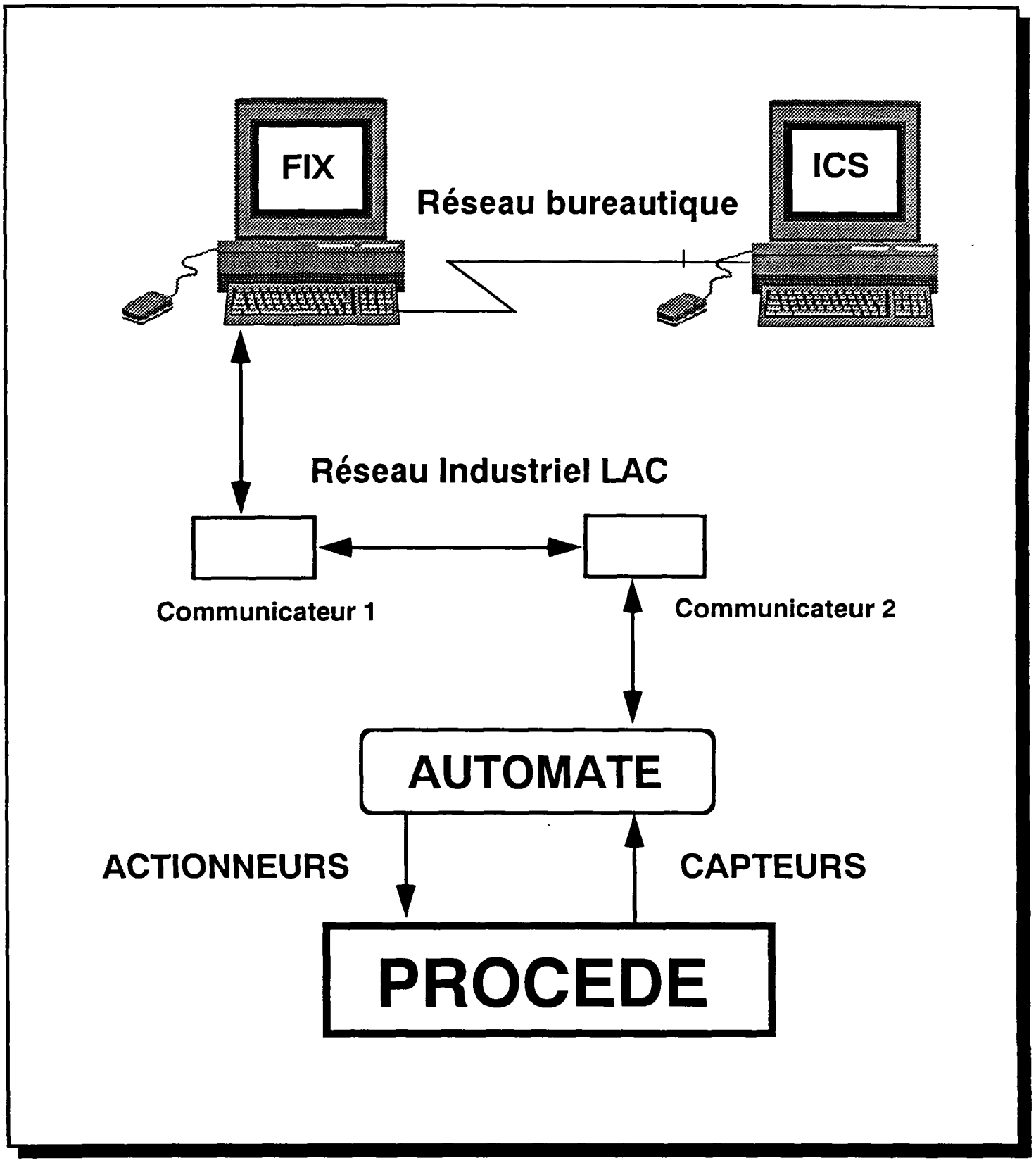


Figure 5.c-1: Système de contrôle complet
comprenant la structure ANPROC

5.D. CONFIGURATION LOGICIELLE DU SYSTEME

5.d.1. RAPPEL DE LA STRUCTURE GENERALE DU SYSTEME ET DES INTERACTIONS ENTRE LES MODULES

La partie 2 de ce rapport décrivait les différents modules et leurs rôles spécifiques. Dans le cadre de l'application industrielle la structure générale est composée de:

* **un module central**, la base de données unifiée (BDU): elle est constituée de trois tables. Ces dernières contiennent les valeurs issues de différentes sources (du procédé par l'intermédiaire du système de supervision dit classique, du module de simulation (USIM PAC) et du système expert),

* **des modules de type auxiliaire** qui sont composés de fonctions préparant le fonctionnement des modules dits externes. Ces modules auxiliaires permettent l'échange des données entre la base de données unifiée (BDU) et les modules (ou plutôt leurs fichiers de données) de traitement d'informations. Ces modules auxiliaires sont dans le cas de l'application industrielle au nombre de trois:

  - le module auxiliaire reprenant les valeurs lues sur le procédé (messagerie 3). Il relit le fichier régulièrement rafraîchi par un programme installé sur le premier ordinateur,

  - le module de préparation de la simulation. Il modifie, lorsque le système expert le demande, les fichiers de données nécessaires à une simulation en reprenant les valeurs les plus récentes issues du procédé et stockées dans la base de données. De la même façon, il lit les fichiers de résultats d'une simulation pour que ces derniers soient à la disposition des autres modules de traitements numériques dans la base de données,

  - le module de gestion des échanges de données entre le système expert et la base de données. Cet échange se fait également par l'intermédiaire de fichiers. Les données échangées sont soit:

    - des drapeaux ayant uniquement pour rôle une synchronisation du système dans son ensemble,
    - des valeurs du procédé analysées par le système expert,
    - des résultats de la simulation devant, eux aussi, être analysés par le système expert.

Ces trois modules sont configurables. Chaque configuration indique le nom du fichier à lire ou devant être modifié ainsi que l'information devant être lue ou modifiée dans ces fichiers.

* **des modules de type externe**: ce sont les modules de traitement de données.

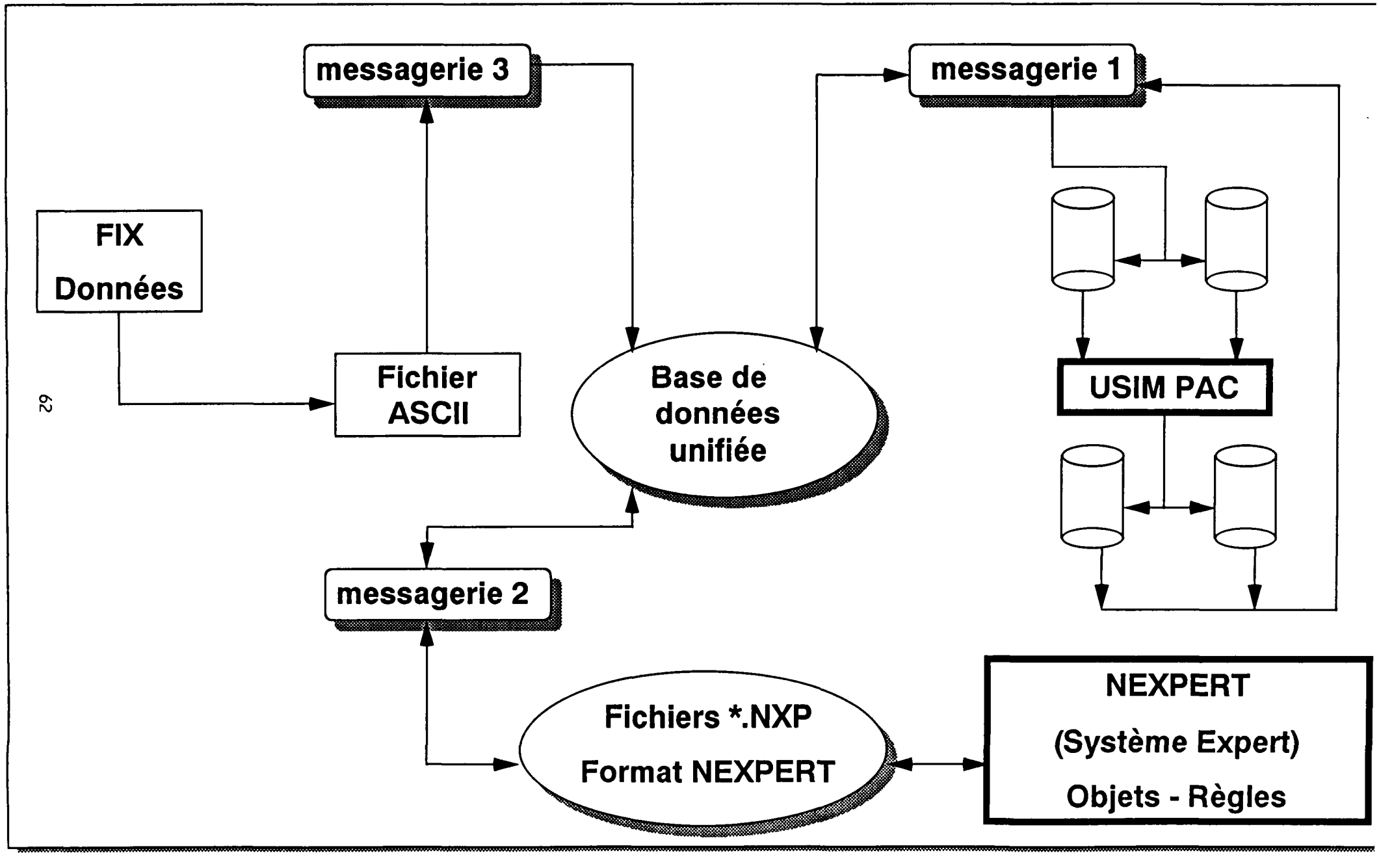
  - Le simulateur: il est configuré à partir du logiciel de simulation statique USIM PAC développé par le BRGM. Nous reviendrons sur sa configuration dans le détail par la suite et sur son rôle dans le cadre de l'application.

  - Le module expert: il est configuré à partir du logiciel NEXPERT-OBJECT présenté dans la partie 3.c. D'un point de vue interaction entre les différents modules, le **système expert synchronise l'échange des données selon les étapes de son raisonnement**. Il a d'autre part pour rôle d'analyser le procédé en utilisant l'outil de simulation, comme nous le verrons par la suite.

  - Le module de génération de rapports: il sera réellement disponible dans le cas où le système sera connecté en ligne sur le système de supervision FIX.

La figure 5.d-1 reprend dans le détail les imbrications entre les différents modules.

Figure 5.d-1: Interaction entre les différents modules de la structure ANPROC



5.d.2. CONFIGURATION DES MODULES DE TRAITEMENT DES DONNEES DANS LE CADRE DE LA CIBLE INDUSTRIELLE

5.d.2.1. Le simulateur statique

Ce module de traitement de données est configuré à partir du logiciel USIM PAC. Il reproduit le fonctionnement de l'atelier dans sa totalité. Ce fonctionnement est représenté à partir l'algorithmes mathématiques simulant les performances des différents appareils installés (dans ce cas bien spécifique, se sont uniquement des appareils de séparation).

La configuration d'un atelier de traitement déjà existant est réalisée comme le décrit le chapitre 3.b en suivant une méthodologie spécifique.

a. Représentation des flux de l'atelier

Dans USIM PAC, après avoir représenté le flowsheet de l'atelier (figure 5.d-2) l'utilisateur peut définir de quelle façon sera représenté un flux de pulpe (débit eau, débit solide, nombre de classes granulométriques, propriétés physiques intrinsèques au minerai), en définissant son modèle de minerai.

Pour cette application, le minerai est représenté par 18 classes granulométriques variant de la classe 1-2 microns à celle de 4-5 millimètres). Le logiciel peut prendre en compte plusieurs types de particules mais dans le cadre de cet atelier, les espèces minérales sont de densités équivalentes. Dans le comportement des particules lors des différentes séparations par voie humide, rentrent surtout en ligne de compte leurs formes qui ne sont pas modélisées dans la description du minerai.

b. Description des appareils

Pour réaliser la configuration d'une usine existante et reproduire le fonctionnement du circuit l'utilisateur du simulateur dispose pour chaque opération unitaire de plusieurs modèles mathématiques.

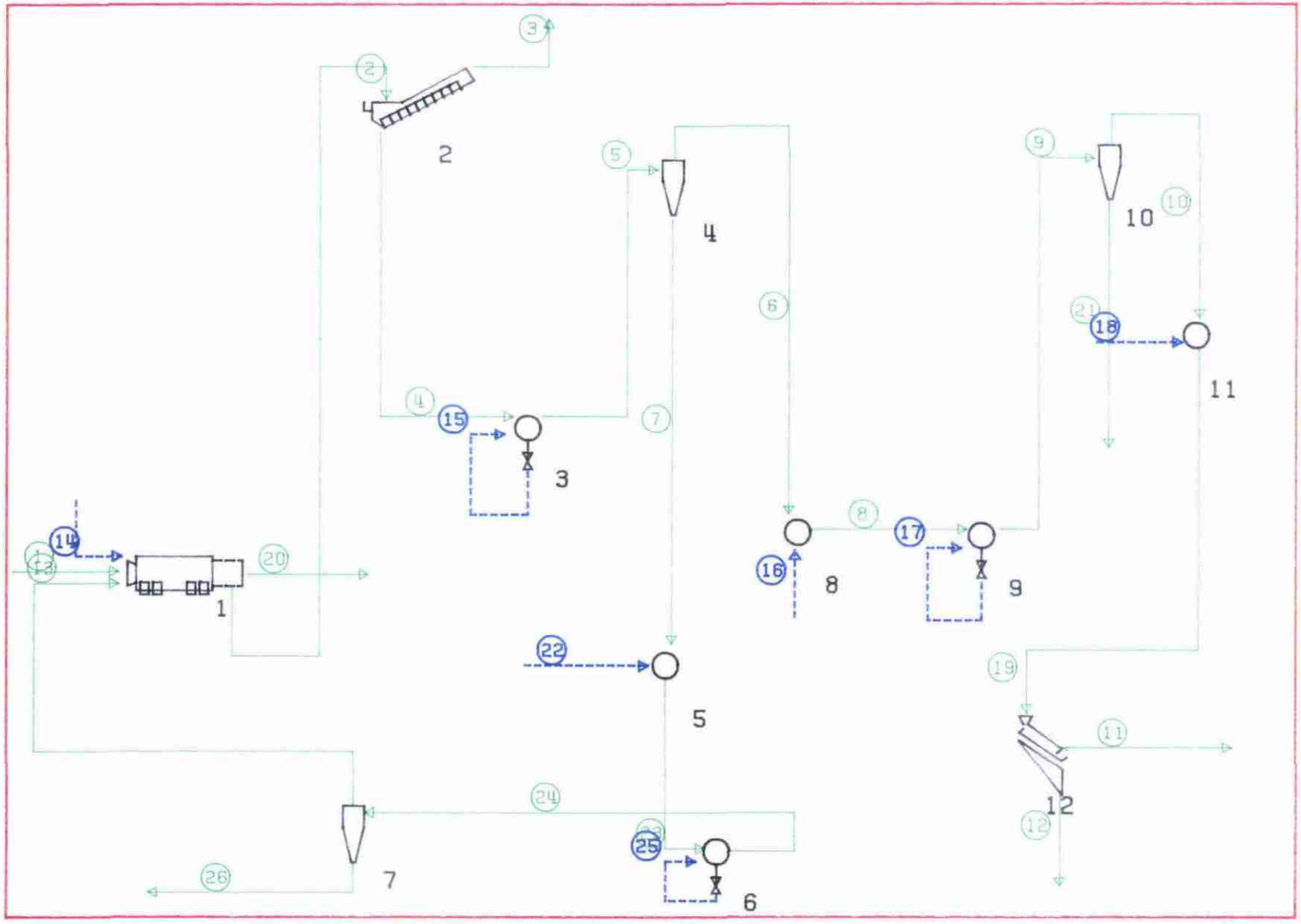
Ces modèles proposent une description macroscopique des performances des appareils, utilisant des concepts non dépourvus de signification physique [2].

Les concepteurs du logiciel repertorient 2 types de modèles.

* les modèles de niveau 0

Ils recalculent simplement les flux de sortie à partir des performances de l'appareil définies par l'utilisateur du logiciel. Leur paramètrage nécessite très peu de données. Dans le cas d'opération de séparation, ils consitent à représenter une courbe de partage définie par une loi mathématique.

KAOLINS D'ARVOR: ATELIER DELAYAGE



USIM PAC

Logiciel BRGM

Figure 5.d-2

* Les modèles de niveau 1 ou de niveau supérieur

Ces modèles, contrairement aux précédents, font intervenir des paramètres dimensionnels pour prédire les performances des opérations modélisées.

Les modèles de niveau 1 nécessitent peu ou pas de données expérimentales; ils sont faciles à mettre en oeuvre, mais leur précision reste limitée.

Les modèles de niveau 2 et 3 (disponibles pour les opérations de broyage et de flottation essentiellement) sont plus précis, mais nécessitent des données expérimentales plus importantes pour leur mise en oeuvre.

La plupart des modèles utilisables pour les opérations unitaires de séparation granulométrique sont des modèles de niveau 0 ou 1. Ainsi le modèle de cyclone de niveau 1 est réalisé à partir d'équations mathématiques prenant en compte le diamètre du cyclone, les dimensions des buses d'alimentation et de sortie et la hauteur du vortex principalement. Cette formalisation fut réalisée par L.R. PLITT [3].

USIM PAC	CARACTERISTIQUES DES APPAREILS	logiciel BRGM
	APPAREIL No 10 CYCLONE NIVEAU 2	
Nombre d'hydrocyclones en parallèle		16.00000
Diamètre de l'hydrocyclone DC (m)		0.10000
Rapport distance buse de surverse-buse de souverse/DC		5.94500
Rapport diamètre de la buse d'alimentation/DC		0.37000
Rapport diamètre de la buse de surverse/DC		0.33000
Rapport diamètre de la buse de souverse/DC		0.16000
		.
		<ESC> pour continuer

Figure 5.d-3: Description des caractéristiques des cyclones secondaires dans la configuration d'USIM PAC

Durant l'année 1989 et une partie de l'année 1990, L.R. PLITT a accompli les développements suivants au sein du BRGM:

- Une amélioration du modèle de cyclones de niveau 1:

L'algorithme de base n'est pas modifié dans les grandes lignes mais il permet même lorsque la sousverse a une décharge en boudin (le cyclone remplit alors mal son rôle de classification) de recalculer les flux de sortie en tenant compte du phénomène de boudinage.

- Un nouveau modèle universel de niveau 1 pour les classifications gravimétriques:

Ce modèle n'est pas encore de façon officielle inclus dans USIM PAC mais il a été testé avec succès [4] à partir notamment de données des Kaolins d'Arvor décrivant le fonctionnement du classificateur à râteaux.

Ces nouveautés importantes ont permis de réaliser un simulateur statique fiable autour d'un point de fonctionnment. Les données expérimentales utilisées pour calibrer les modèles sont issus d'un bilan complet réalisé par le laboratoire de l'usine pour contrôler le fonctionnement du délayage. Les annexes 5 et 6 présentent les modèles utilisés pourconfigurer l'atelier de délayage. L'annexe 7 décrit dans le détail la reproduction du fonctionnement de l'atelier à partir du logiciel.

5.d.2.2. Le système expert

Le chapitre 3.b introduit les principes fondamentaux manipulés lors de l'utilisation des systèmes experts. L'outil NEXPERT-OBJECT permet, rappelons le, de manipuler des concepts spécifiques, classes objets, propriétés... qui seront mieux perçues dans un cas concret.

a. Fonctions du système expert

Par rapport aux spécifications initiales du système, le module expert a une **fonction primordiale**. Il est en effet le maître de la structure. Il active les échanges de données et assure les synchronisations entre l'initialisation de fichiers de données des différents modules externes et le lancement de ces modules (par exemple le lancement de certaines options d'USIM PAC). Bien sûr il a un **rôle de superviseur** et de **conseil à la conduite du procédé.**

Ses fonctions sont les suivantes:

* Un rôle propre vis à vis de la structure.

Il active les requêtes vis à vis de la base de données: demande de valeurs issues du procédé, ou lecture des résultats issus du module simulation. Ces requêtes sont gérées par des drapeaux dont les valeurs sont échangées entre la base de connaissance du système expert et "la messagerie2" (routine de transfert de valeurs base de données-base de connaissances du système expert). Les données transmises sont stockées de façon transitoire dans des fichiers au format spécifique reconnu par le logiciel NEXPERT-OBJECT.

* Un rôle de supervision du procédé

Il analyse de façon systématique les valeurs issues du procédé qu'elles soient de type digital ou de type numérique.
D'une part il vérifie que le procédé a un fonctionnment normal et stabilisé (pas d'alarme et pas de phase de démarrage en cours).
D'autre part il analyse les tendances des variables numériques prépondérantes pour la conduite de l'atelier.

* Un rôle de gestion des options de simulation.

Suivant ses premières conclusions, il peut être fait appel au module de simulation.

Cet appel est géré de manière séquentielle:

- NEXPERT-OBJECT demande tout d'abord une initialisation des fichiers de données nécessaires à USIM PAC. Cette requête constitue en fait une modification du flux d'entrée décrit au niveau du simulateur pour la prise en compte du dernier débit de minerai lu par la balance de pesage sur le site.

- Suivant sa représentation du procédé au moment de l'initialisation du module de simulation, à travers l'exécution d'une règle, NEXPERT-OBJECT lance directement une des options de logiciel de simulation USIM PAC (simulation, redéfinition du nombre de cyclones à utiliser,...).

- Lorsque l'option lancée est terminée, le système expert prévient la base de données pour permettre la lecture des résultats qui lui sont transmis dans un temps très bref.

* Un rôle d'analyse et de conseil à l'opérateur.

Enfin, il a pour **rôle principal** après avoir interrogé son modèle, à savoir le simulateur, un **rôle d'analyse**, par comparaison des résultats donnés par le simulateur, et des valeur relevées sur le procédé. Nous reviendrons plus dans le détail, dans le partie 5.e sur la stratégie de contrôle envisagée pour l'atelier de délayage par l'intermédiaire de l'outil intelligent développé dans le cadre du projet.

b. Description de la base de connaissance du système expert

Les fonctions énumérées ci-dessus et les premières notions introduites concernant les divers modes de représentation de la connaissance dans NEXPERT-OBJECT permettent de justifier la représentation choisie pour cette application.

Il est à noter que le système expert n'est pas opérationnel mais une grande part de l'expertise est réalisée. La codification de cette expertise est en partie effectuée également. Il est cependant nécessaire pour avoir une maquette cohérente dans le cadre de l'application, de poursuivre des tests et des validations en relation avec le personnel d'exploitation. Ces développements sont assujettis aux suites données au projet par les Kaolins d'Arvor, c'est à dire à la possibilité de connexion du système suivant leur degré d'avancement dans les choix globaux d'automatisation de leur usine.

Le chapitre 3.b. a superficiellement décrit les possibilités de représentation de la connaissance dans le "shell" de développement NEXPERT-OBJECT et les analogies avec l'utilisation des connaissances par l'esprit humain. Il a mis en exergue deux types de représentation très imbriquées lors de la la définition de ces connaissances:

- le réseau des classes et objets
- le réseau des règles.

* Le réseau des objets

La notion d'objet en règle générale dans les modes de représentation de l'intelligence artificielle introduit la notion de classement d'unités de connaissances répertoriées dans l'esprit humain. Ces classements peuvent varier pour un domaine précis suivant les différentes approches faites par tel ou tel expert.

Dans le cas du système qui nous concerne, la description adoptée n'est pas unique. Elle est réalisée par analogie aux concepts utilisés dans les outils de simulation, par les minéralurgistes et par la vue permanente qu'ont les exploitants de l'atelier.

Le développement de la base des objets a été réalisée en reprenant la représentation statique de l'atelier sous deux aspects:

- le fonctionnement mécanique,
- le fonctionnement minéralurgique: la fonction propre à l'atelier étant la séparation des espèces minérales.

Deux classes principales sont décrites:

Les appareils à moteur: certains n'ont aucun rôle de séparation mais doivent être pris en compte pour le contrôle de pannes (tapis, pompes...).

Les appareils de séparation: les propriétés définies à leur niveau concernent leur fonctionnement (point de coupure, soutirage) ou la description des flux d'entrée et de sortie (densité, débits).

La figure 5.d-4 reprend l'agencement des classes et sous classes définies pour le contrôle de l'atelier délayage.

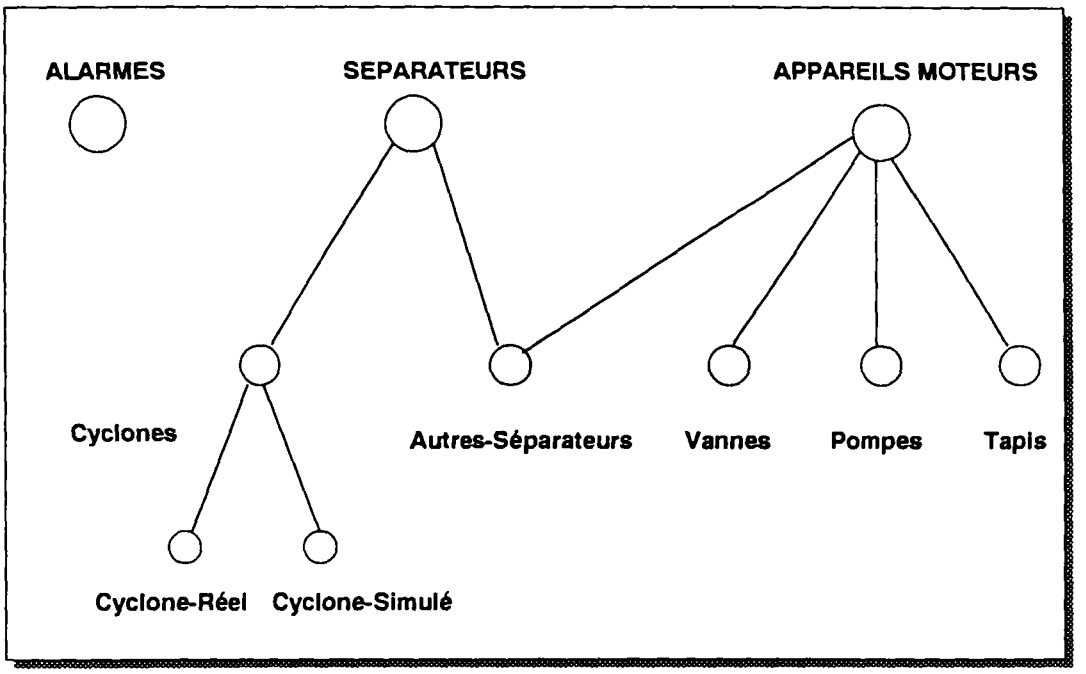


Figure 5.d-4: Classes principales définies dans la base des objets

L'exemple contenu dans la partie 3.b et reproduit sur la figure 5.d-4 donne une vue plus détaillée d'une classe et de la représentation de ses objets.

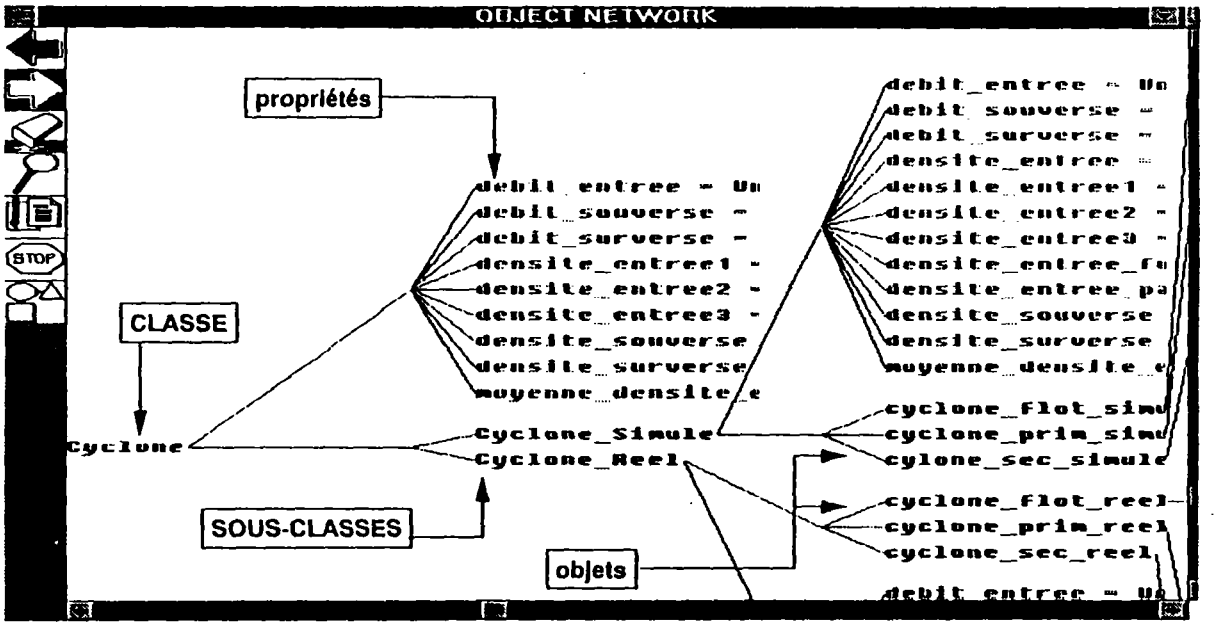


Figure 5.d-5: Détail de la sous classe cyclones

Il est tenu compte dans la gestion des classes de la manipulation de valeurs issues de la simulation.

Les valeurs des propriétés définies dans la base des objets sont toutes initialisées à 0 comme dans le cas où l'atelier ne fonctionne pas.

Ces valeurs forment globalement une base de faits. Elles sont en effet rafraîchies périodiquement par lecture de fichiers lors des inférences.

On peut schématiser le rafraîchissement de ces valeurs comme suivant la figure 5.d-6.

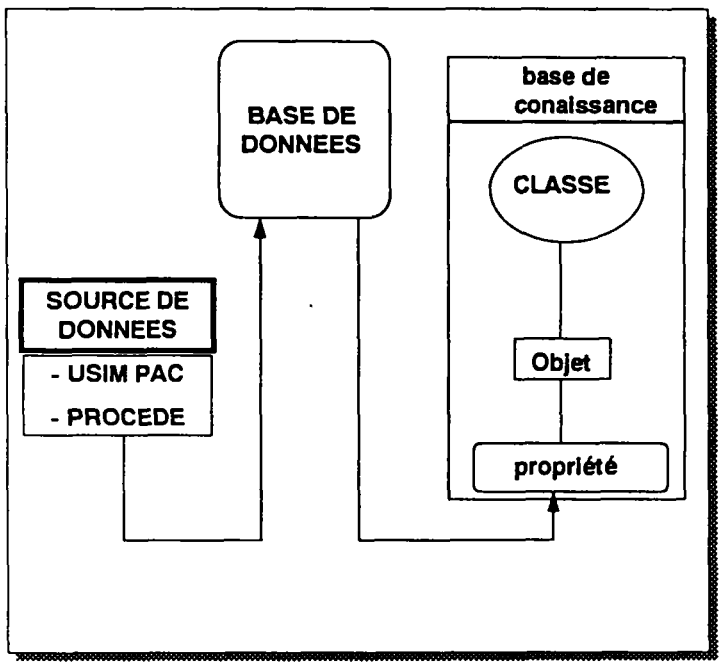


Figure 5.d-6: Schématisation du rafaichissement des valeurs des propriétés

En dehors des objets définis comme nous l'avons vu pour la description du procédé et pour l'utilisation des résultats de la simulation, une classe d'objets a définie essentiellement une classe d'objets pour la gestion des échanges de données.

* Le réseau des règles

Les règles de NEXPERT-OBJECT sont comme nous l'avons vu dans le chapitre 3.b composés de deux parties.

```
RULE :  Rule 9
If
      FONCTIONNEMENT_OK is TRUE
      And Retrieve "fixdens.nxp"
@TYPE=NXPDB;@NAME="!appareils!";@PROPS=densite_entree1;
@FIELDS="densite_alim";
      And cyclone_sec_reel.densite_entree1 is not equal to 0
      And cyclone_sec_reel.densite_entree1 is not equal to
cyclone_sec_reel.densite_entree3
Then LECTURE_CYCL_SECONDAIRES_DENSITE1
      is confirmed.
      And NOW() is assigned to date_lecture_densite1
      And DATE2FLOAT(date_lecture_densite1) is assigned to
heure_lecture_densite1
```

```
RULE :  Rule 5
If
      PREPARER_INI is TRUE
      And Retrieve "flag.nxp"
@TYPE=NXPDB;@NAME="!flag!";@PROPS=etat;@FIELDS="etat";@ATOMS=<|Flag|>
;
      And fin_ecrit_fic.etat is precisely equal to 1
Then ECRITURE_INI_REALISE
      is confirmed.
      And Execute "simule.exe"(@TYPE=EXE;@WAIT=TRUE;)
      And 0 is assigned to ecrit_fic.etat
      And Writing in "flag.nxp"
@TYPE=NXPDB;@NAME="!flag!";@PROPS=etat;@FIELDS="etat";@ATOMS=<|Flag|>
;
```

Figure 5.d-7: Exemple de règles définies dans NEXPERT-OBJECT

Une partie gauche et une partie droite, la première étant composée de premisses ou conditions, la deuxième d'une conclusion (vérifiée si toutes les conditions sont exactes) et d'un certain nombre d'actions prédéfinies qui ne sont déclenchées que si la conclusion est vraie.

Il faut aussi rappeler que les règles peuvent être dans une base de connaissances regroupées en ensembles ou encore "îlots de connaissances" suivant l'utilisation faite des connaissances qui la composent. Ainsi, dans certains, cas seules certaines règles seront utilisées et toute la base de règle ne sera pas systématiquement scrutée.

Si nous reprenons les fonctions attribuées au système expert dans la partie 5.d.2.1, les règles sont regroupées en quatre pôles ou îlots principaux comme le décrit la figure 5.d-8.

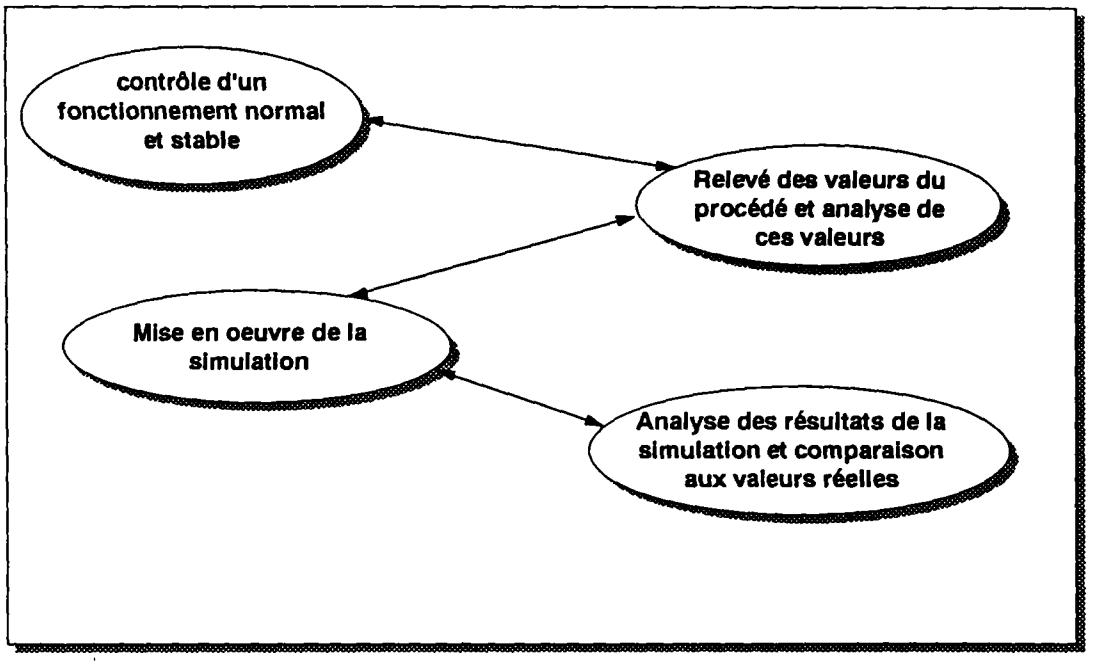


Figure 5.d-8: Découpage de la base de connaissances en îlots: fonction de chaque îlot

- Un premier pôle concerne le contrôle de l'atelier d'un point de vue mécanique, c'est à dire la vérification de l'absence d'alarmes activées.

- Un deuxième pôle gère la lecture des données du procédé (des paramètres principaux) et analyse les tendances.

- Si la nécessité de la consultation du simulateur est vérifiée, alors un îlot de connaissance prend en charge le lancement de la simulation et son contrôle.

- Un quatrième groupe de règles constitue réellement le conseil à l'utilisateur. Il en déclenche suivant les cas et après analyse des résultats de la simulation des affichages au niveau de l'interface utilisateur et des conseils de conduite éventuels (point de consigne, fermeture des cyclones).

5.d.3. Définition succincte de l'interface opérateur

Le choix de l'environnement WINDOWS pour le développement du système ANPROC apporte à divers titres des possibilités importantes dans la définition de l'interface et l'utilisation simple du système pour l'opérateur:

* L'environnement du développement lui-même permet de construire des interfaces très conviviales (dessins, multifenêtrage, menus déroulants...).

* Le logiciel NEXPERT-OBJECT, application WINDOWS, intègre des fonctions d'affichage de texte à travers des fenêtres de dimensions configurables.

La maquette de l'interface, dans le cadre de l'application est représentée sur la figure 5.d-9.

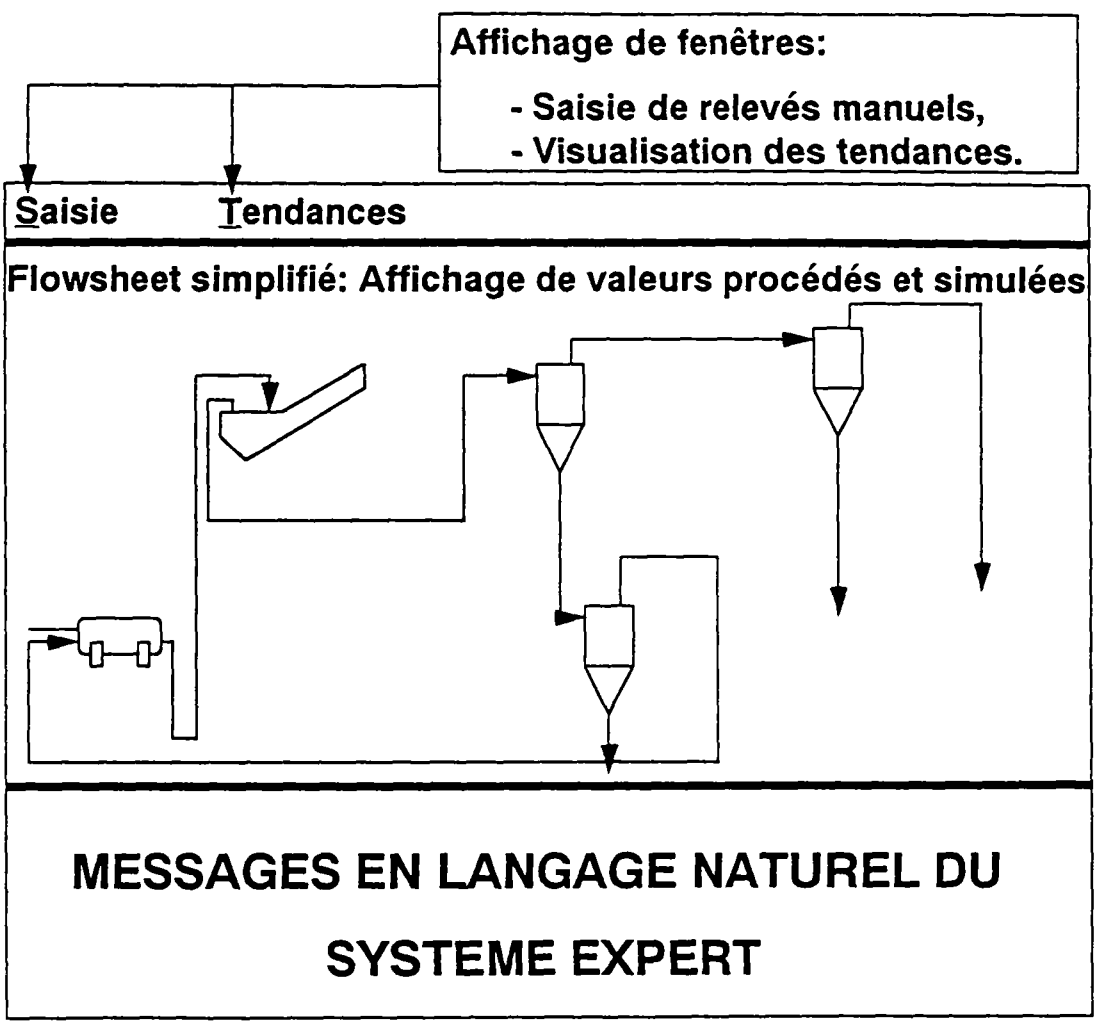


Figure 5.d-9: Interface utilisateur du système ANPROC

* Une fenêtre principale contenant une version simplifiée du flowsheet de l'atelier, c'est à dire une description des différents appareils de séparation. Sur ce flowsheet sont inscrites des valeurs quantitatives concernant:

  - les flux: => valeurs réelles (débits, densité)
    => valeurs simulées (débits, densité)

  - les appareils de séparation: valeurs simulées décrivant leur fonctionnement (d50, soutirage).

* Une fenêtre à travers laquelle sont affichées les conclusions auxquelles le système expert aboutit, suivant l'état du procédé et les prédictions la validé du simulateur.

* Un menu de gestion très simple à partir d'une souris et du clavier. Il permet l'ouverture essentiellement de 2 types de fenêtres:

  - une grille de saisie pour l'opérateur lui permettant d'introduire dans le système des relevés manuels établis à heure fixe. Les données seront utilisées dans le module de génération de rapport après transit par la base de données, et éventuellement par le système expert,

  - un système de fenêtres permettant d'avoir une vue des tendances sur un intervalle de temps donné, des principaux paramètres les plus importants pour l'appréciation du bon fonctionnement de l'atelier.

Il faut rappeler que cette interface est une application WINDOWS qui est donc directement connectée à la base de données unifiée pour la lecture (affichage à l'écran) et l'écriture des valeurs saisies.

5.E. UTILISATION DU SYSTEME POUR LE CONTROLE DE L'ATELIER CIBLE

5.e.1. ORGANISATION ET POSSIBILITES DE CONTROLE DANS L'ATELIER

Les deux impératifs majeurs au niveau de l'atelier de délayage sont:

- d'obtenir un produit final (kaolin 0-20 microns) contenant moins de 0,2 % en poids de particules supérieures à 45 microns,

- d'assurer une cadence de production suffisante pour répondre aux besoins du moment.

Le minerai traité provient de différentes carrières et est homogénéisé ceci afin d'obtenir une terre ayant au départ des valeurs optimales concernant certaines propriétés (blancheur, viscosité, granulométrie...). Le produit final répond ainsi la plupart du temps aux normes de qualité prédéfinies.

L'atelier de délayage est soumis à peu de perturbations et ne connaît pas de problèmes majeurs et fréquents dans son fonctionnement.

Les principales perturbations sont provoquées par:

- des arrêts de l'atelier liés à des pannes mécaniques des appareils. Les conséquences concernent une baisse de production en cas d'arrêt prolongé,

- des arrêts de l'atelier provoqués par des niveaux trop bas dans les réserves d'eau. Les ajouts d'eau dans cette partie de l'usine sont majeurs et continus en divers points du circuit. Il est fondamental que ces approvisionnements en eau puissent être assurés.

Ces deux points sont contrôlés par l'automate. L'opérateur est prévenu immédiatement sur les synoptiques du système de supervision, ainsi que par message dirigé vers l'imprimante, décrivant l'endroit exact de l'incident mécanique.

A ces points de vue purement mécaniques viennent s'ajouter des perturbations liés aux propriétés intrinsèques du minerai. Même si ce dernier est homogénéisé à l'entrée de l'atelier de délayage, sa composition minéralogique et sa distribution granulométrique sont très variables; la teneur en particules inférieures à 20 microns qui sont constituées de kaolin varie de 20 à 40 %.

Cette variabilité entraîne deux préoccupations majeures dans le contrôle de l'atelier pour l'opérateur:

Lorsque la terre est pauvre en kaolin (donc lorsque la proportion de sable est forte) la puissance nécessaire pour un travail efficace du classificateur à râteau (élimination des sables) devient importante. Il se produit un engorgement à son niveau. Si la puissance consommée devient trop importante, l'appareil s'arrête provoquant l'arrêt de tout l'atelier. Il existe pour l'opérateur des seuils de prévention, la seule action pour ce dernier étant de diminuer le débit initial de minerai pour que la quantité de sable diminue.

A l'inverse, lorsque la proportion initiale de kaolin est forte, il n'y a pas de problème majeur dans la première partie des opérations de séparation. Par contre la concentration en solide dans la pulpe à la sortie du circuit est importante. Une pulpe trop concentrée alimentant les panneaux tamiseurs provoque un très mauvais fonctionnement de ceux-ci. En effet la maille de la toile est de 40 microns. Ces panneaux sont constamment arrosés pour faciliter le passage du kaolin à travers les mailles. Si le taux de solide à l'alimentation des panneaux est trop important, il y a saturation sur la toile et le kaolin est entraîné avec le refus. Il y a débordement et perte de produit.

Là encore, le seul moyen d'action est la réduction du débit de terre à l'entrée de l'atelier.

De façon à éviter que ces incidents ne se renouvellent pas fréquemment, l'opérateur "a l'oeil constamment rivé" sur la valeur de la densité du flux de sortie contenant le lait kaolinique. Par expérience il sait qu'au delà d'une valeur "d limite" les risques de saturation sur les panneaux deviennent importants. Il réduit alors le débit de terre à l'entrée.

Cependant cette réaction est tardive: en effet le temps de séjour du produit dans l'atelier est d'une demi-heure. Entre la modification du débit de terre et l'action sur la densité de sortie, un débordement peut avoir lieu.

C'est pour minimiser ce risque de débordement qu'est configuré le système développé dans le cadre du projet.

5.e.2. UTILISATION DU SYSTEME INTELLIGENT DANS LA PREVENTION DES DEBORDEMENTS AUX PANNEAUX TAMISEURS

Les principales valeurs numériques utilisées pour éviter le problème majeur répertorié dans le contrôle de l'atelier concernent:

- la densité en surverse des cyclones secondaires (relevée manuellement),
- la densité en sortie d'atelier du "lait kaolinique" (vers les bassins de décantation) et le débit de pulpe correspondant,
- le débit de "terre" entrant dans l'atelier.

Le suivi par les opérateurs de l'évolution de la densité en sortie d'atelier et en surverse des cyclones secondaires est, nous l'avons vu, le seul indicateur pour minimiser le risque de saturation des panneaux tamiseurs.

Les deux actions possibles sur le circuit de traitement sont de procéder de façon manuelle à la fermeture des cyclones (ou à leur ouverture) et surtout d'agir sur le débit de minerai à l'entrée de l'atelier. Les actions de contrôle sont typiquement des actions de **"Feedback manuel"** sur les points d'actions du procédé. Ces actions sont souvent tardives, lorsque les seuils des paramètres de contrôle de procédé dépassent les normes. Ces actions sont réalisées par les opérateurs avec une dextérité qui est liée pour une grande partie à leur bonne connaissance de l'atelier et à leur expérience.

Cette expérience couplée à la puissance de calcul d'un outil de simulation peut diminuer de façon significative les risques de débordement des panneaux tamiseurs.

Dans l'aspect empirique de la conduite de l'atelier, avec les outils automatiques mis en oeuvre avant le développement du projet, l'évaluation du risque de saturation était tardive et la conduite pouvait paraître quel que peut aléatoire.

L'utilisation du système intelligent devrait permettre une évaluation beaucoup plus prédictive dans le temps sous condition d'une bonne configuration et d'un bon suivi du système sur site.

Schématiquement trois cas peuvent se présenter après lecture des valeurs du procédé par le **système**:

* La densité du lait kaolinique (produit final) est supérieure à une valeur seuil qui de manière empirique est jusqu'à présent utilisée comme repère pour la conduite du procédé.

  Si de plus la densité sur un intervalle de temps court (quelques minutes) augmente, alors le risque de débordement est grand. Le système expert prévient l'opérateur et lui propose une diminution de ce débit de minerai (débit conseillé à partir d'une simulation réalisée avec un débit inférieur au débit réel).
  Ce cas est typiquement la reproduction du contrôle actuel mais le système conseille l'opérateur pour le réglage du débit d'alimentation.

* La densité du lait kaolinique est inférieure à la valeur seuil mais les tendances de ce paramètre indiquent une augmentation de ce dernier; le risque est sérieux et il est nécessaire de prendre en compte le débit de minerai entrant dans l'usine pour savoir si à l'instant $t + T_S$ (T_S = temps de séjour), cette tendance sera confirmée ou non. Le lancement d'une simulation permet de confirmer ou d'infirmer cette tendance.

  Si elle est confirmée le risque est très sérieux. Le conseil à l'opérateur est reformulé pour action sur le procédé (ouverture/fermeture des cyclones, diminution du débit de terre) en réutilisant la simulation pour définir le nombre optimal de cyclones et la nouvelle consigne du débit d'entrée du minerai.

* La densité lue est inférieure au seuil critique, et la tendance indique une diminution de la densité. Le risque n'est pas immédiat. Il est cependant nécessaire de surveiller les évolutions du débit de minerai à l'entrée du circuit.

  Cette utilisation du système implique un "bouclage" du mode de fonctionnement de l'ensemble. Lorsque le système expert a fourni une conclusion, la scrutation des valeurs du procédé reprend.

Dans l'utilisation de la simulation il est nécessaire de pouvoir contrôler également la fiabilité des résultats, ou encore la validité du point de calibrage du simulateur.

Cette validité doit être assurée par un "historique" géré également par le système expert.

Si la valeur de la densité calculée par le simulateur à partir du minerai entrant à $t - T_S$ est l'ordre de grandeur de la densité mesurée à t, alors le simulateur est correctement calibré et le flux d'entrée est correctement décrit d'un point de vue distribution granulométrique. La proportion sable-mica/kaolin définie dans le fichier de données utilisé est cohérent avec la granulométrie à l'entrée de l'usine.

S'il y a invraisemblance dans la comparaison de ces deux valeurs il faut utiliser a priori une autre distribution granulométrique pour le flux d'alimentation de l'atelier, c'est à dire une autre proportion initiale sable-mica/kaolin.

5.F. METHODOLOGIE SUIVIE POUR LA CONFIGURATION DES MODULES EXTERNES

Pour expliciter la méthodologie suivie pour configurer ces modules, il est nécessaire de suivre de façon chronologique tout le déroulement du projet.

Comme l'indique la partie 1.b, la phase concernant la préparation de tests industriels a débuté dès le premier tiers de l'ensemble du projet. Trois éléments principaux sont à prendre en compte dans la configuration des modules:

- le but final du système ANPROC: apporter une aide intelligente à l'opérateur pour la conduite du procédé,

- utiliser un outil de simulation statique dans le cadre d'une installation existante,

- gérer l'ensemble du système de conduite par l'intermédiaire du système expert.

Le travail sur site peut être décomposé en trois étapes successives:

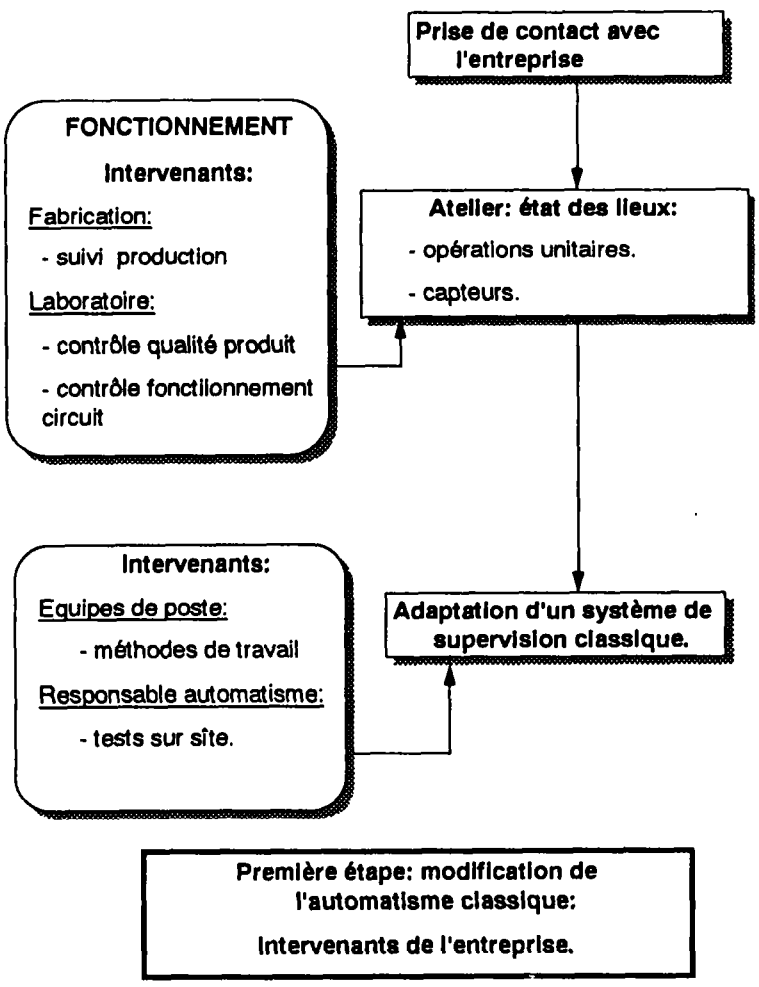
* La première étape concerne la **mise en place d'un système de contrôle classique**. Cette première étape a déjà été décrite d'un point de vue technique mais elle a permis une préparation du système ANPROC par l'analyse du procédé qu'elle a induit. C'est ce qui est représenté sur la figure 5.f-1.

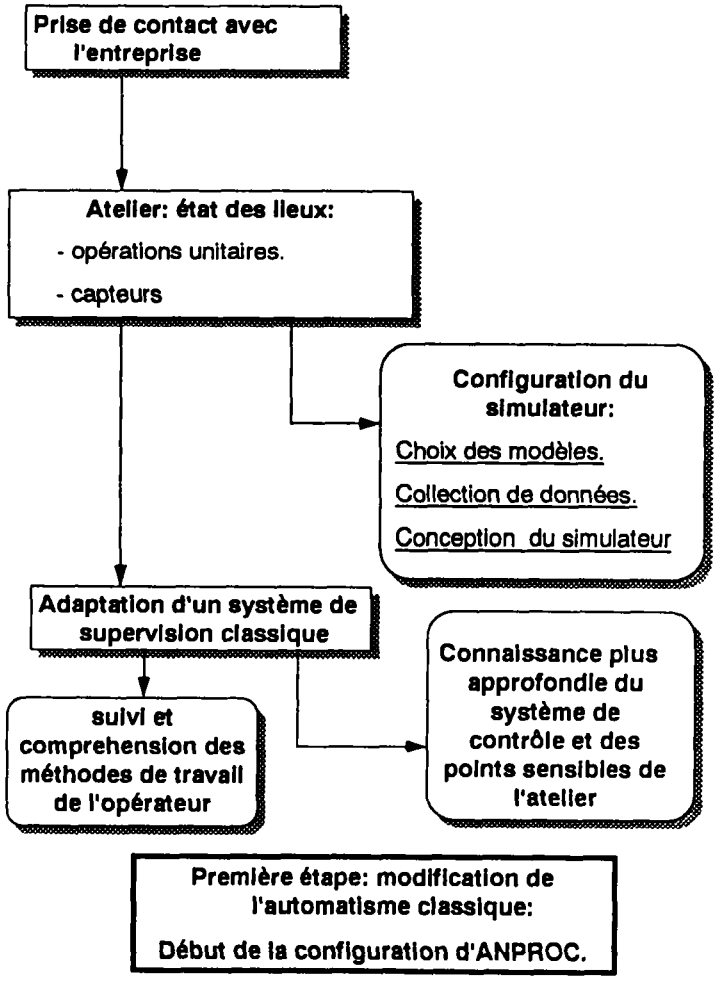
  Cette première étape constitue d'une part le premier contact avec l'entreprise et permet une concertation sur les travaux à entreprendre. Elle a permis de réaliser un état des lieux de l'atelier, d'un point de vue automatique pour pouvoir configurer le logiciel FIX.

  Cette prise de contact avec le procédé lors de la configuration du système de contrôle classique a permis:

  - de comprendre dans les grands principes le fonctionnement de l'atelier,
  - d'établir la liste des opérations unitaires de séparation,
  - de comprendre les méthodes utilisées pour le contrôle de l'atelier et de suivre le personnel impliqué dans ce contrôle (fabrication, laboratoire, opérateurs).

  Il fut dès lors possible de recueillir les données nécessaires à la configuration d'un simulateur statique (dimensions des appareils, recueil de données expérimentales décrivant certains flux du circuit...).


Prise de contact avec l'entreprise
FONCTIONNEMENT
Intervenants:
Fabrication:
- suivi production
Laboratoire:
- contrôle qualité produit
- contrôle fonctilonnement circuit
Atelier: état des lieux:
- opérations unitaires.
- capteurs.
Intervenants:
Equipes de poste:
- méthodes de travail
Responsable automatisme:
- tests sur site.
Adaptation d'un système de supervision classique.
Première étape: modification de l'automatisme classique:
Intervenants de l'entreprise.


Prise de contact avec l'entreprise
Atelier: état des lieux:
- opérations unitaires.
- capteurs
Configuration du simulateur:
Choix des modèles.
Collection de données.
Conception du simulateur
Adaptation d'un système de supervision classique
suivi et comprehension des méthodes de travail de l'opérateur
Connaissance plus approfondie du système de contrôle et des points sensibles de l'atelier
Première étape: modification de l'automatisme classique:
Début de la configuration d'ANPROC.

Dès cette première étape, la conception du simulateur fut réalisée en suivant la méthodologie décrite dans la partie 3.b.

L'autre apport principal, toujours dans cette étape de configuration du système de supervision classique, concerne les **méthodes de travail** des équipes en charge du contrôle du suivi du fonctionnement du procédé (suivi des pannes, changement des consignes). L'adaptation du logiciel FIX et la formation des opérateurs à son utilisation apporte une connaissance plus approfondie de l'atelier et de ses points sensibles.

Cette première étape, non prévue, a donc permis un recueil de connaissances et une première approche importante du procédé.

* La deuxième étape concerne la **focalisation sur le rôle du système expert** dans le cadre précis de l'atelier. Cette étape peut se décomposer en phases types que l'on retrouve dans la création d'un système expert:

  - La première étape a apporté une connaissance de base sur le procédé, l'environnement dans lequel doit être utilisé le système. Elle a aussi souligné les points faibles du contrôle de l'atelier.

  - Au cours de cette deuxième étape se fait le choix des interlocuteurs principaux pour le cogniticien (le réalisateur du système expert). A l'issue d'une phase de réflexion, au cours de divers entretiens se dégage le but principal pour lequel le système expert doit être conçu:

    - à quel problème majeur doit-il répondre ?
    - comment peut-il y répondre ?

Les divers entretiens, mis en place pour la définition du système expert, mettent en relief les **éléments de connaissance des exploitants sur leur procédé**, pour son **contrôle optimal**, et **les difficultés rencontrées pour y parvenir.**

Ce transfert de connaissances est une des étapes clés du développement du système expert. Il est capital de faire parler les experts sur leur expérience et d'enregistrer leurs propos sans les déformer.

Parallèlement, et c'est là le côté novateur et également complexe de la construction du module expert, cette étape fut une étape de réflexion et de tests concernant l'apport de la simulation du procédé en situation stable comme aide au système expert pour la conduite de l'atelier:

- quelles sont les informations apportées par la simulation et utiles au système expert pour la résolution du problème ?
- quelles sont les limites de validité des résultats apportés par la simulation ?

Cette seconde étape est schématisé sur la figure 5.f-2 ci-dessous.

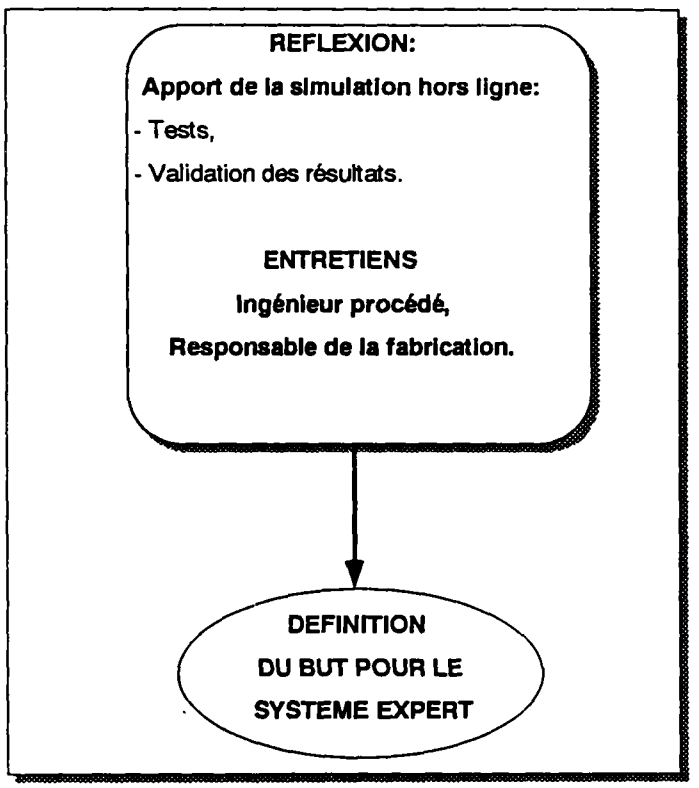


Figure 5.f-2: Définition du but pour le système expert et extraction de la connaissance

Lorsque cette étape de réflexion est réalisée et qu'un nombre suffisant d'informations sont enregistrées, la dernière étape est réalisée par le cogniticien.

* Cette troisième étape représentée sur la figure 5.f-3 concerne la **formalisation** des connaissances, à travers règles et objets. Le cogniticien doit reprendre les informations dégagées lors de la deuxième étape, les classer et les relier dans un ordre logique pour que ces connaissances soient gérées telles que le gère l'expert qui a transmis ces connaissances.

  Dans ce cas précis qui nous intéresse, ces connaissances découlent d'une **double expertise** concernant:
  - l'expérience des responsables du procédé pour sa gestion,
  - la dextérité des utilisateurs expériments du logiciel de simulation.

  Enfin lors de cette troisième étape, une maquette de l'interface avec l'opérateur est réalisée. Cette définition est réalisée en tenant compte des observations effectuées lors du suivi du travail des opérateurs. L'interface répond à deux impératifs:
  - afficher les valeurs fondamentales pour le conduite de l'atelier
  - être simple pour assurer un confort d'utilisation.

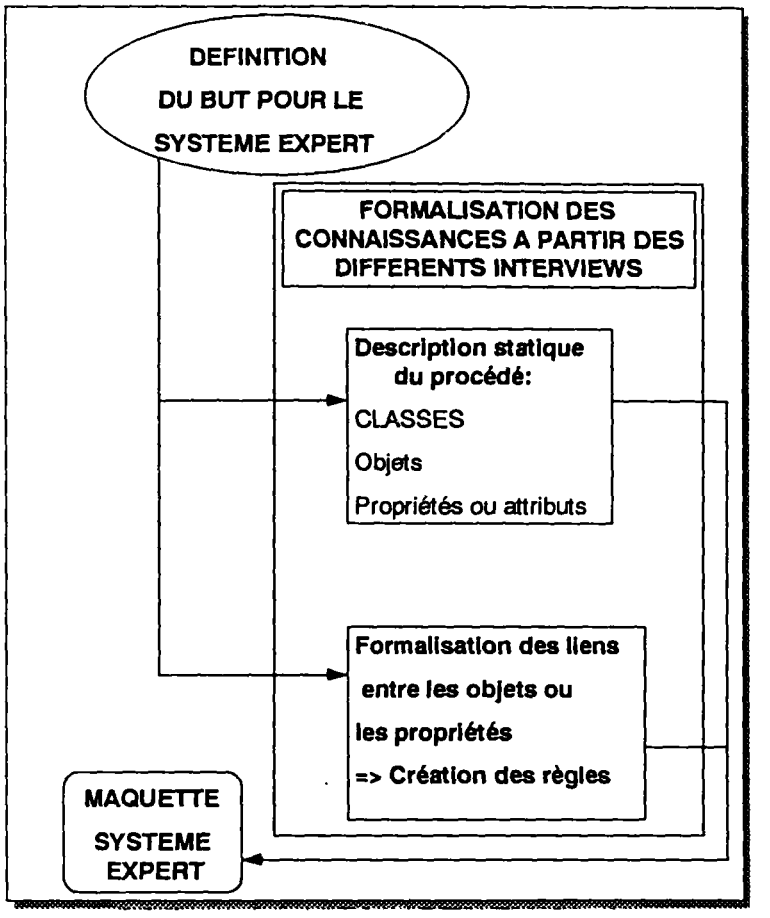


Figure 5.f-3: Formalisation de la connaissance-structuration de la base de connaissance du système expert

La conception du système expert et de sa connexion avec le simulateur est amorcée en fait dès la première étape, et parallèlement à l'extraction des connaissances une partie du travail liée à l'informatique traditionnelle doit être réalisée dont le choix des logiciels de développement.

De la même manière lors des deuxième et troisième étapes sont parallèlement conçus des modules relevant de l'informatique classique. Ceux-ci nécessitent cependant une expertise préalable c'est à dire un recueil d'informations suffisant pour par exemple élaborer l'interface utilisateur. C'est ce que représente ces trois étapes de la figure 5.f-4.

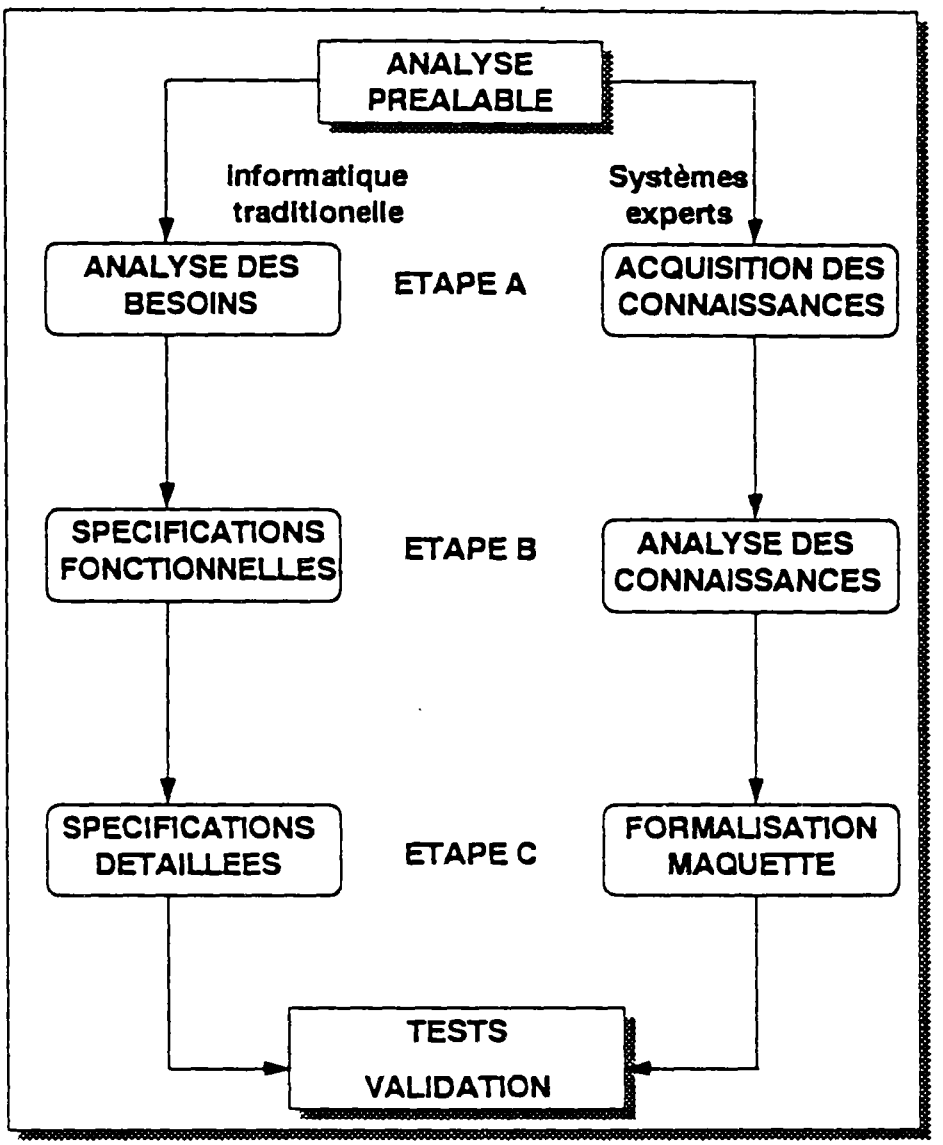


Figure 5.f-4: Etapes d'élaboration de la maquette dans le cadre de l'opération industrielle

Enfin après élaboration des règles et d'une interface pour pouvoir communiquer avec le système, la dernière étape consiste à faire valider les "raisonnements" du module intelligent par les experts ayant transmis leur savoir: (résultats cohérents ou aberrants, conclusions validées dans des cas réels...).

5.G. DEFINITION D'UNE METHODOLOGIE GENERALE POUR L'IMPLANTATION DU SYSTEME ANPROC SUR UN SITE INDUSTRIEL

L'implantation du système de conduite intelligent ANPROC reste complexe et délicate à plusieurs titres:

* Il constitue un niveau élevé dans une structure automatique déjà en place et requiert avant sa mise en oeuvre l'assurance de niveaux inférieurs déjà implantés et fiables. Sa connexion sera dans ces seules conditions simple à réaliser.

* Le nombre d'intervenants pour une configuration optimale est relativement important et la réussite des premières approches pour sensibiliser les exploitants aux nouveaux concepts intégrés dans cette structure est primordiale pour une bonne acceptation de l'outil.

* La partie expertise est un point extrêmement délicat: elle ne sera efficace que si les deux premiers points ont été bien abordés. De plus il existe dans le développement de ce module expert une multi-expertise qui est constituée:

- de la connaissance de l'exploitant concernant l'atelier visé, de sa conduite, de la complexité de son suivi,

- de l'expérience qu'a le concepteur du système final d'un outil de simulation en régime stable et de ses multiples apports.

La réussite d'une configuration d'ANPROC optimale passe par une complémentarité très forte de ces deux types de connaissances et d'expérience utilisées. Les différentes étapes d'adaptation du système à un cas industriel sont répertoriées sur la figure 5.g-1.

La mise en place de ce type de système nécessite un dialogue important auprès de tous niveaux hiérarchiques de l'entreprise:

Pour la Direction: il s'agit d'insister sur les apports du système sur une régularité plus grande dans le fonctionnement de l'atelier (d'usine), d'où gains de rentabilité pour des investissements relativement légers.

Pour les cadres supervisant le procédé: c'est avec eux que la plus grande partie de la réflexion se fait. Il faut bien insister sur les intérêts d'un apport d'informations supplémentaires en ligne par l'intermédaire de la simulation, et sur l'allégement de la charge de travail lié à l'aspect expert du système.

Le dialogue doit être axé également sur les concepts utilisés par le système (notion de simulation en régime permanent stable, notion du système expert). Il apporte d'un seul coup d'oeil un état de fonctionnement du procédé.

ANALYSE PREALABLE:

Bilan de l'automatisme en place:
- capteurs,
- informations disponibles,
- système de supervision: ouverture ?

PREMIERE ETAPE: Expertise du procédé:

- niveau minéralurgique (objectifs de l'atelier...)
- méthodes de contrôle automatique,
- définition d'une conduite "optimale",
- compréhension des méthodes de travail des opérateurs.

DEUXIEME ETAPE: Configuration d'un simulateur:

- choix des modèles,
- configuration du simulateur et calibrage,
- validation du simulateur.

TROISIEME ETAPE: Définition de l'objectif:

- entretiens responsables du procédé/cogniticien
- tests hors ligne avec le simulateur (concertation sur les résultats avec les experts du procédé)

QUATRIEME ETAPE: Réalisation d'une maquette:

- base de connaissance prenant en compte la gestion de la simulation,
- réalisation d'une interface simple s'intégrant dans les méthodes de travail des opérateurs.

CINQUIEME ETAPE: Tests et validation de la maquette:

- formation des opérateurs sur site,
- baby sitting.

Figure 5.g-1: Etapes de configuration et d'insertion du système de conduite ANPROC sur site industriel

Pour les opérateurs: l'aspect innovateur est la transcription à travers un outil informatique de lectures de mesures, de résultats, de conseils formulés en langage clair, ce qui implique le développement d'une interface graphique simple pour le suivi des paramètres majeurs dans la conduite du procédé.

REFERENCES

[1] **R. BODU**
L'opérateur et la conduite informatisée des procédés.
Industrie Minérale - Mines et Carrières - Les Techniques.
Novembre 1989 - Vol. 11 - pp. 23-44.

[2] **A. BROUSSAUD, J.-C. GUILLANEAU**
Modèles d'opérations unitaires en minéralurgie.
Industrie Minérale - Mines et Carrières - Les Techniques.
Vol. 70, n° 4/5 - pp. 146-172.

[3] **L.R. PLITT**
A Mathematical Model of the Hydrocyclone Classifier.
CIM Bulletin, n° 69 - décembre 1976, pp. 114-123.

[4] **L.R. PLITT**
A Mathematical Model of the Gravity Classifier.
Sera présenté au Congrès IMPC de Dresde en septembre 1991.

BRGM

L'ENTREPRISE AU SERVICE DE LA TERRE

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
Direction Générale de la Science, de la Recherche
et du Développement
Rue de la Loi, 200 - 1049 BRUXELLES (Belgique)

document non public

développement et implantation d'un système modulaire de conduite intelligent pour les usines de traitement des minerais

application à l'atelier "délayage" de l'usine des Kaolins d'Arvor (Morbihan, France)

Volume 2 - Annexes

*J.-C. Guillaneau
*O. Guyot
*J.-F. Pastol
*A. Broussaud
**M. Jourdan
**J.-L. Maesen

contrat CCE MA1M-0058-C(CD)

mars 1991
R 32 785

*BRGM
DIRECTION DES ACTIVITÉS MINIÈRES
Département Minéralurgie
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - France - Tél.: (33) 38.64.34.34

**COPPÉE LAVALIN
Rue Louise, 251 - 1050 BRUXELLES - Belgique - Tél.: (32) 2.647.74.35

A N N E X E S

VOLUME 2:

ANNEXE 1: ANNEXE 1.a: Description logicielle détaillée du système

ANNEXE 1.b: Description détaillée de l'environnement WINDOWS

ANNEXE 2: Présentation des objectifs du projet et du schéma du système, réalisée au séminaire CCE de Warren Spring en février 1989

ANNEXE 3: Présentation du logiciel de simulation USIM PAC

VOLUME 3:

ANNEXE 4: Manuel d'aide à l'opérateur pour l'utilisation du système de supervision classique FIX

ANNEXE 5: Fiches synthétiques des modèles utilisés par le simulateur pour représenter les opérations unitaires de l'atelier délayage

ANNEXE 6: Description détaillée des algorithmes mathématiques utilisés dans le simulateur pour représenter les opérations unitaires de l'atelier délayage

ANNEXE 7: Configuration du logiciel de simulation pour l'atelier de délayage:
* courbes de partage des appareils de séparations
* rapport complet décrivant les flux du circuit (débits, granulométrie), et les caractéristiques des appareils

ANNEXE 8: Représentation schématique des résultats issus des différents tests réalisés hors ligne à partir du simulateur:
* comparaison des rendements atelier, calculés à partir de simulations et des rendements expérimentaux
* variations du comportement des paramètres majeurs de contrôle dans l'atelier, en fonction:
  - du débit initial du minerai
  - des variations de teneur en kaolin dans le minerai de départ

- ANNEXE 1 -

ANNEXE 1.A: DESCRIPTION LOGICIELLE DETAILLEE DU SYSTEME

ANNEXE 1.B: DESCRIPTION DETAILLEE DE L'ENVIRONNEMENT WINDOWS

1.A. DESCRIPTION LOGICIELLE

Cette annexe reprend le rôle de chaque message lors de l'activation d'un module du système.

* Un module auxiliaire qui démarre, initialise les échanges avec le module "base de données" en lui envoyant un message WM-JLP-INIT. Ce message doit être acquitté par le module "base de données". Un identificateur de module auxiliaire accompagne l'expédition de ce type de message. Cet identificateur permet au module "base de données" de mémoriser quel module signale sa connexion, en ajoutant l'identificateur du module à la liste de modules actifs connectés.

* Un module auxiliaire qui veut utiliser une opération d'écriture de valeur dans les tables de la BDU, envoie au module "base de données" un message WM-JLP-ECRIT. Ce message doit être acquitté par le module "base de données".

  Un premier identificateur, décrivant le type des informations échangées, accompagne l'envoi de ce type de message. Un second identificateur, associé lui aussi au message, joue le rôle de moyen d'accès (HANDLE) à une zone de mémoire partagée.

  C'est dans cette zone mémoire que le module auxiliaire doit placer, avant l'envoi du message, les informations à échanger, c'est là aussi que le module "base de données" doit les récupérer, après réception du message, pour les écrire dans les tables de la BDU.

* Un module qui veut effectuer une opération de lecture de valeurs dans les tables de la BDU, envoie au module "base de données" un message WM-JLP-LECT. Ce message doit être acquitté par le module "base de données".

  Un premier identificateur qui décrit le type des informations à échanger accompagne l'envoi de ce type de message. Un second identificateur jouant le rôle de moyen d'accès (HANDLE) à une zone de mémoire partagée est lui-aussi associé au message.

  C'est dans cette zone mémoire que le module "base de données" doit ranger, après réception du message, les informations à lire dans les tables de la BDU; c'est là aussi que le module auxiliaire doit les récupérer, après l'acquittement du message de lecture par le module "base de données".

* Un module auxiliaire qui termine son exécution, met fin aux échanges avec le module "base de données" en lui envoyant un message WM-JLP-TERM. Ce message doit être acquitté par le module "base de données".

Un identificateur de module auxiliaire accompagne l'expédition de ce type de message. Cet identificateur permet au module "base de données" de mémoriser quel module vient de se déconnecter, en supprimant l'identificateur du module de la liste des modules actifs connectés.

* Le module "base de données" acquitte, positivement ou négativement suivant les cas, la réception des divers types de messages décrits plus haut, en envoyant des messages WM-JLP-ACK ou WM-JLP-NACK vers l'expéditeur initial.

* Le paramètre, identifiant le module auxiliaire expéditeur, qui accompagne chaque message reçu, permet au module "base de données" de vérifier que les messages de lecture ou d'écriture proviennent bien de modules connectés de façon régulière (c'est à dire par un message WM-JLP-INIT). Il permet aussi au module "base de données" de déterminer le destinataire du message d'acquittement, à envoyer, en réponse au message reçu.

  Un identificateur particulier, accompagnant les messages d'acquittement renvoyés par le module "base de donnée", indique, au module auxiliaire concerné qui attend cet acquittement à quel type de message est associé l'acquittement.

* Comme dans tout système de communication, si un problème apparaît (acquittement négatif ou absence de réponse du module "base de données"), un système de surveillance de durée des échanges et de relance de ceux-ci en cas d'échec existe.

  Ce système permet un certain nombre d'envois successifs du même message avant de signaler un problème à l'opérateur. Celui-ci garde encore la possibilité de relancer les envois ou d'arrêter l'application.

1.B. DESCRIPTION DETAILLEE DE L'ENVIRONNEMENT WINDOWS

Avant l'apparition de la version 3.0 de WINDOWS, on distinguait deux types de produits WINDOWS:

a. Une version "normale" appelée WINDOWS 286 qui pouvait fonctionner sur les ordinateurs équipés de n'importe quel processeur Intel (8088, 8086, 80286, 80386, 80386SX, ou 80486).

b. Une version "386" appelée WINDOWS 386 qui ne pouvait fonctionner que sur les machines équipées de processeurs IAPX386 ou plus récents (80386, 80386SX, ou 80486).

Avec l'apparition de la version 3.0, en plus de diverses améliorations de convivialité, on a assisté à la fusion des deux anciens produits en un seul. Cependant, on distingue maintenant trois modes de fonctionnement pour WINDOWS qui ne sont pas tous utilisables sur n'importe quelle machine (type de micro-processeur et quantité de mémoire vive installée).

a. **Le mode réel.**
Il correspond à l'ancienne version WINDOWS 286. Il en conserve d'ailleurs les limitations en quantité de mémoire utilisable. Il permet de faire fonctionner telles quelles les anciennes applications WINDOWS: son rôle est donc de réaliser une compatibilité ascendante. Ce mode est utilisable sur tous les types de machines même les moins performantes. (Tous types de processeurs, nécessité de 640 K.octets de mémoire vive conventionnelle).

b. **Le mode standard.**
C'est le mode "normal" d'utilisation. Il correspond à une version améliorée de l'ancien WINDOWS 286. Les améliorations portent sur la quantité de mémoire vive utilisable par les applications: celles-ci peuvent adresser plus de 640 K.octets et accéder à la mémoire vive étendue.

c. **Le mode 386 étendu.**
Il correspond à l'ancien WINDOWS 386. Ce mode n'est utilisable que sur les machines les plus puissantes. (Processeur au moins de type 80386, nécessité de pratiquement deux Mégaoctets de mémoire vive - en fait, au minimum 640 K.octets de mémoire conventionnelle et 1024 K.octets de mémoire étendue).

Les possibilités offertes dans ces trois modes sont assez différentes.

En mode réel, les applications ont uniquement à leur disposition de la mémoire conventionnelle (les 640 premiers K.octets) et de la mémoire paginée si elle est disponible. (Mémoire "expanded" à la norme LIM 4.0).

En mode standard, WINDOWS est capable d'utiliser la mémoire étendue (mémoire "extended" située au delà du premier Mégaoctet) et les applications spécifiques WINDOWS peuvent en profiter et dépasser ainsi la barrière des 640 K.octets de mémoire disponible.

Ces deux premiers modes se comportent de façon identique en ce qui concerne leur support des applications "DOS standard" et spécifiques à WINDOWS. Il est possible de démarrer et d'utiliser en mode multitâche plusieurs applications spécifiques WINDOWS, mais ce n'est pas le cas des applications "DOS standard". En effet, si on peut charger en mémoire plusieurs de celles-ci, et s'il est possible de passer de l'une à l'autre, seule l'application "DOS standard" se trouvant à l'avant-plan est active et reçoit du temps de traitement. Toutes les autres applications, aussi bien "DOS standard" que spécifiques WINDOWS, qui se trouvent dans l'arrière-plan, sont à l'arrêt. Elles ne reprennent leur exécution que lorsqu'elles passent à leur tour en avant-plan.

Pour résumer, dans ces deux modes, soit l'ensemble des applications spécifiques WINDOWS sont actives en avant-plan (en multitâche coopératif) et toutes les applications "DOS standard" sont à l'arrêt, soit une application "DOS standard" est active en avant-plan et l'ensemble des autres applications "DOS standard" et toutes les applications spécifiques WINDOWS sont arrêtées.

Par contre, **en mode 386 étendu** on peut arriver à utiliser simultanément plusieurs applications spécifiques WINDOWS et plusieurs applications "DOS standard" en même temps sans jamais stopper l'exécution d'aucune d'entre elle. Chaque application reçoit à tour de rôle la possibilité de s'exécuter quel que soit le type de l'application se trouvant en avant-plan. De plus, ce mode utilise les capacités de mémoire virtuelle offertes par le processeur 80386 et ses successeurs, c'est-à-dire que les applications peuvent accéder à une quantité de mémoire supérieure à la mémoire vive réellement disponible.

Le mode multitâche offert dans tous les modes de fonctionnement de WINDOWS (réel, standard, 386 étendu) est d'un type un peu particulier. Il ne concerne en fait que les applications écrites spécifiquement pour WINDOWS.

Ces applications doivent, entre autres contraintes d'écriture, incorporer une structure particulière appelée la "boucle de messages". Cette "boucle de messages" se charge de récupérer toutes les informations envoyées à l'application par les autres programmes ou par WINDOWS lui-même. Ces informations ont été "empilées" sous forme de messages successifs dans une structure appelée le "message queue" de l'application. Lorsque le "message queue" de l'application est vide, le fait d'avoir essayé d'y récupérer une information provoque la reprise du contrôle par WINDOWS, qui peut alors passer ce contrôle à une autre application. Chaque application, à tour de rôle, effectue le traitement des messages déposés dans son "message queue" avant de repasser le contrôle à l'application suivante, par l'intermédiaire de WINDOWS.

C'est donc grâce à la manière particulière dont sont écrites les applications spécifiques WINDOWS, qu'on obtient un fonctionnement multitâche.

Un mode multitâche de ce type est appelé "multitâche coopératif" puisque c'est grâce à la coopération de chaque application spécifique WINDOWS qui rend d'elle-même le contrôle, que le multitâche devient possible. Ce mode est aussi appelé "multitâche non-préemptif" car le système d'exploitation (ici WINDOWS plus MS-DOS) n'interrompt jamais une application après l'écoulement d'une certaine période de temps pour passer le contrôle à une autre application. Ce type de multitâche nécessite une écriture très "propre" des applications. En effet, un programme qui ne respecterait pas les règles d'écriture ou qui effectuerait de très importantes quantités de traitement sur réception de certains messages "saboterait" véritablement le système de répartition des ressources en stoppant pratiquement toutes les autres applications lors de ses phases intensives de traitement.

Il existe cependant un second type de multitâche offert par le mode 386 étendu de WINDOWS. Ce mode multitâche est lui de type "préemptif" c'est-à-dire basé sur une répartition systématique de "tranches de temps" aux différentes applications qui sont interrompues d'office à la fin de la période qui leur a été allouée.

Pour arriver à offrir ces nouvelles possibilités, WINDOWS en mode 386 étendu utilise un mode de fonctionnement particulier du processeur (appelé mode "virtuel 86") qui n'est disponible que sur les processeurs IAPX386 et supérieurs.

Dans ce mode de fonctionnement, on permet la création de ce qu'on appelle des "machines virtuelles". Chaque "machine virtuelle" constitue en fait un genre de PC autonome à l'intérieur de la machine et, sur chacune d'elles peut fonctionner une application différente, tout cela simultanément.

On retrouve donc une possibilité de multitâche de type "préemptif", car le gestionnaire 386 de WINDOWS alloue des tranches de temps à chaque "machine virtuelle" qu'il a créé.

Bien sûr, le nombre de "machines virtuelles" que l'on peut créer dépend étroitement de la quantité de mémoire vive disponible sur la machine. Plus cette quantité de mémoire vive disponible est importante, plus le nombre de "machines virtuelles" qu'il est possible de générer augmente.

La création et la répartition des "machines virtuelles" se fait de la façon suivante:

- au démarrage du système, le gestionnaire de mode 386 créé une première "machine virtuelle" dans laquelle est installé le code "standard" de WINDOWS. C'est dans cette première "machine virtuelle" que seront lancées toutes les applications spécifiques WINDOWS qu'on démarrera par la suite. On obtient alors une multitâche "non-préemptif" entre les applications spécifiques WINDOWS à l'intérieur de la première "machine virtuelle",

- par la suite, chaque fois que l'on démarre une application "DOS standard", le gestionnaire de mode 386 créé une nouvelle "machine virtuelle" dans laquelle l'application est installée. On obtient ainsi une multitâche "préemptif" entre les différentes "machines virtuelles" générées.

En conclusion, on peut remarquer que la version 386 étendu de WINDOWS offre une possibilité de multitâche "à deux visages", qui permet de créer des applications spécifiques profitant de toutes les possibilités offertes, mais aussi qui permet d'utiliser telles quelles des applications "DOS standard" existantes.

On peut remarquer de plus que le mode d'écriture des applications spécifiques WINDOWS est très proche de celui requit pour créer des applications destinées à fonctionner sous la "Presentation Manager" d'OS/2 (système d'exploitation multitâche pour PC présenté par IBM et Microsoft). Ceci ouvre la porte à un portage éventuel du système vers ce système d'exploitation plus puissant, qui risque de se répandre très largement.

C'est cet ensemble d'avantages qui, principalement, a conduit au choix de WINDOWS comme système de base.

- ANNEXE 2 -

PRESENTATION DES OBJECTIFS DU PROJET ET DU SCHEMA DU SYSTEME, REALISEE AU SEMINAIRE CCE DE WARREN SPRING EN FEVRIER 1989

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A MODULAR, INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR MINERAL PROCESSING PLANTS

A. BROUSSAUD, J.C. GUILLANEAU, J.F. PASTOL
BRGM - FRANCE

M. JOURDAN, C. GHIBU, R. PERISSE
COPPEE LAVALIN - BELGIUM

CEC CONTRACT MA1M1/00 122/120

CEC seminar on mineral processing and extractive metallurgy
Warren Spring laboratories, Stevenage U.K.
1989, february 27th and 28th.

ABSTRACT

This summary paper presents the aim of this project and the state of development of the research. The general objective is to create and demonstrate an advanced control system for small and medium size mineral processing plants, based on the use of on-line algorithms for plant simulation and diagnosis, and on-line expert-systems.

The partners directly involved are an international engineering company (Coppée Lavalin - Belgium) and a mineral processing research centre (BRGM - France). The first application of the system will be made in association with an industrial plant, the china clay plant of the Kaolins d'Arvor - France.

The research consists of four different phases:

- *System structure development: the general structure is defined and the main modules are developed.*
- *On-line plant simulation and diagnosis modules: the shell is defined for the simulation, this is the USIM PAC software. The integration of such a software is defined and research is conducted into its on-line use.*
- *On-line decision making expert system module: based on a commercial shell. Research is conducted into its on-line use and knowledge extraction methodology.*
- *Test and industrial application: the plant simulator and the rule-based module are developed.*

A first application will be tested between June and October 1989.

1 - INTRODUCTION

A common problem of the mineral processing industry is that unit processes are affected by a number of ore parameters which are difficult or impossible to measure with to-day's technology. Therefore available reliable data are usually insufficient to fully describe the operation of the processes and engineers often consider this a major limitation to the power of mathematical approaches. However, a number of specific computer tools are becoming available for mineral processing plant design, optimisation and control.

A common feature of most of these tools is that they contribute through various approaches, to overcoming difficulties arising from measurement deficiencies.

The objective of this project is to create and demonstrate an advanced control system based on the use of on-line tools for helping the operator in understanding the state of the plant operation so that the right decision can be made quickly. The advice may concern either the plant operation diagnosis or the optimisation of the operating parameters. These tools are the "intelligence" of the system and they can be algorithm or rule-based.

The project is defined around four phases:

1 - system structure development,

2 - on-line plant simulation and diagnosis modules,

3 - on-line decision making expert system module,

4 - test and industrial application.

The state of development of these four phases is presented in this paper.

2 - PHASE 1: SYSTEM STRUCTURE DEVELOPMENT

The mineral process control system will run on micro-computers such as PC or PS. Its design is modular, each module being in charge of a specific function. The system include modules with traditional functions such as flowsheet display, alarm management, data storage and advanced modules which give the system its ability to control the plant intelligently.

The system structure, or shell, organises the on-line relationship between the modules. It is supported through a multitasking shell which enables the same user-friendly interface to be used by the operator while running the different technical modules.

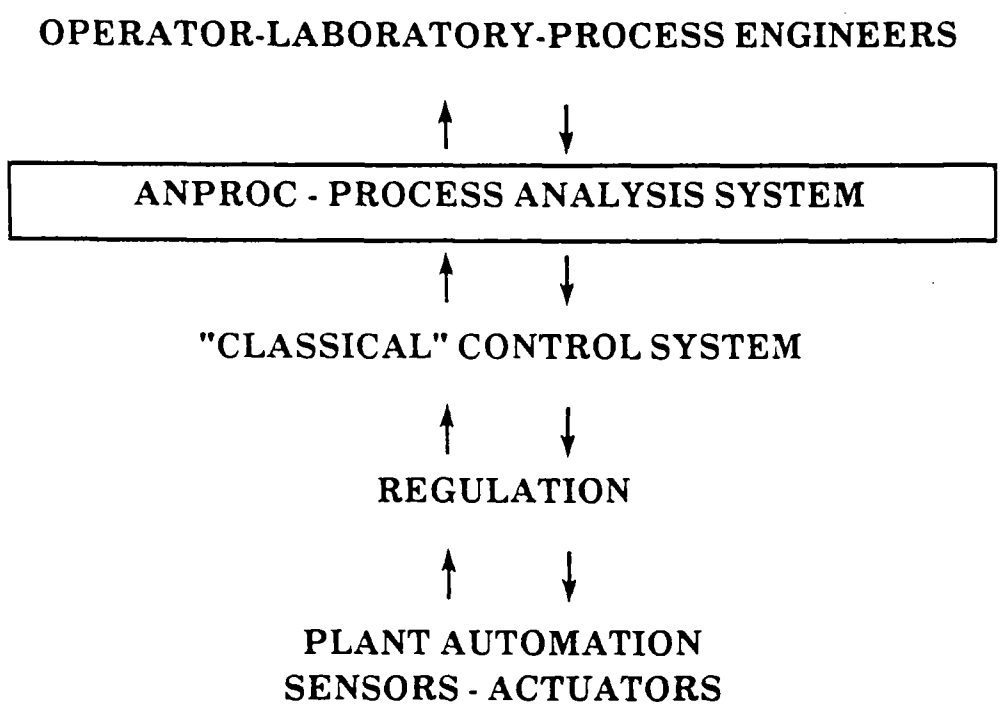


Figure 1 - An on-line help for plant operation and optimisation

As shown on figure 1, this system is made to be linked to a classical control system and its "intelligence" is formalised through two functions:

- anticipation of events, and

- diagnosis of sensors, actuators and unit operation.

For this, the system uses information from:

- the classical control system,
- the operator,
- the laboratory, and
- the process engineers

All this information is combined in a plant data base which is the core of the system. Around this data base, a communication level controls all the data transfers between the different modules. Figure 2 describes the general structure of the system.

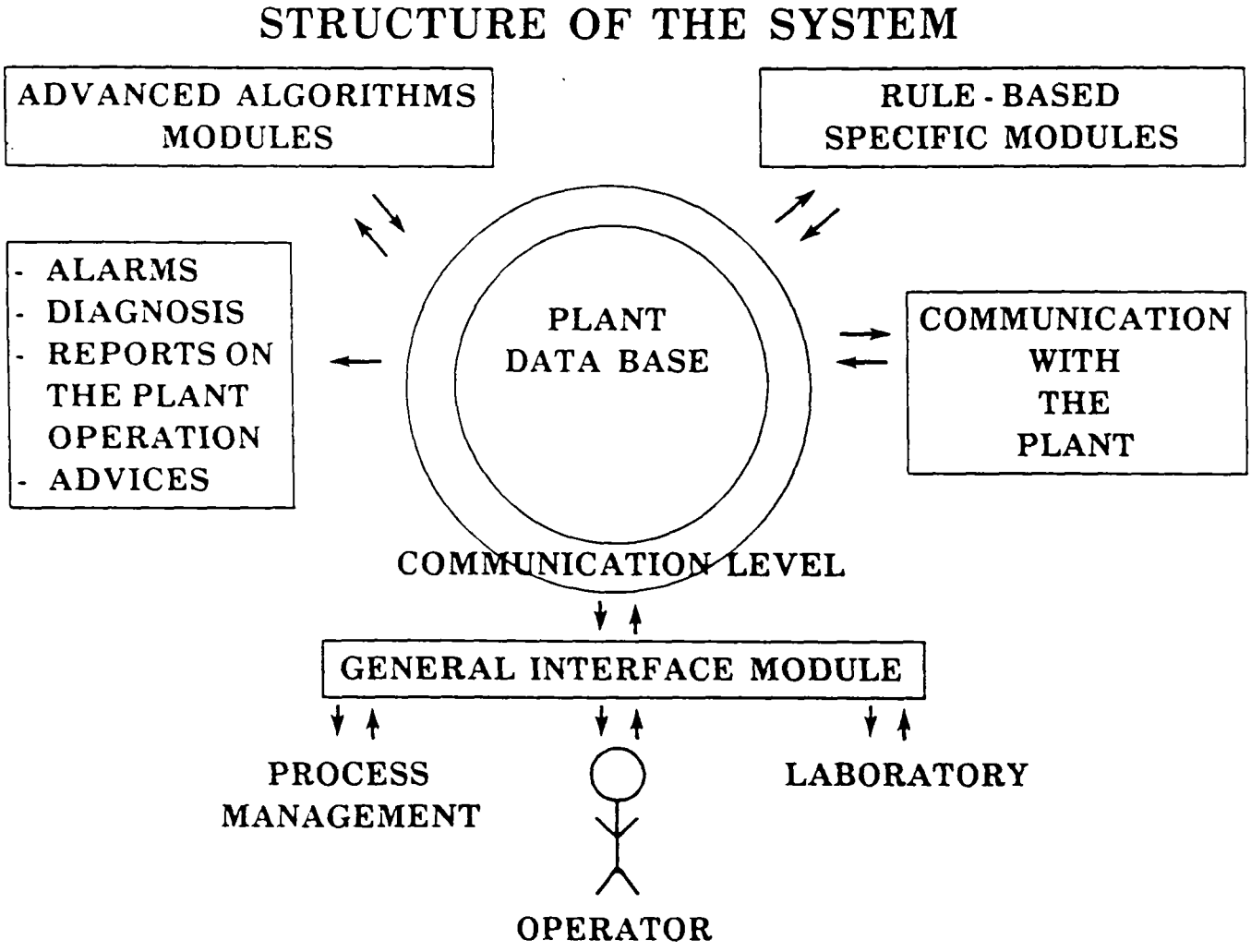


Figure 2 - General structure of the system

3 - PHASE 2: ON-LINE PLANT SIMULATION AND DIAGNOSIS MODULES

The main characteristics of the system are anticipation of events and diagnosis. As the sensors generally provide very noisy information, and this is more true for mineral processing than for other industrial areas, it is necessary to obtain a "model" of the process to be able to calculate non-measured values and to compare the predicted values with the measured ones.

The "models" of the process can be:

- a coherent material balance,
- a dynamic material balance (such as the Kalman filtering),
- a steady-state simulator, or
- a dynamic simulator.

These tools can be very effective for on-line application and the on-line use of coherent and dynamic material balances has been tested on the grinding-classification circuit of the BRGM pilot plant in Orléans, France. One of the main topics of this research is the on-line use of a steady-state simulator for:

- predicting the future equilibrium of the circuit after a modification of the ore or of an operating condition,
- determination of the unmeasured streams of the plant,
- suggestions of new set points for plant operation, and
- diagnosis of the unit operation.

As a shell for the simulator, the USIM PAC software structure is used. The main current topics of the research in this field are the on-line use of the simulator in terms of:

- data capture from the data base,
- automatic calibration of the models, and
- comparison between simulated and measured values for the unit operation diagnosis.

The integration of the simulator into the general structure is defined and the result analysis modules are under development.

4 - PHASE 3: ON-LINE DECISION-MAKING EXPERT SYSTEM MODULE

One use of the "expert-system" seriously contemplated by the ore processing industry is as a real-time aid to plant operation. From the standpoint of the user, the engineer or operator, the expert system is software which can, for example:

- rapidly diagnose of the operational state or the cause of plant problems,

- recommend actions to be taken or set points and settings to be adopted, and perhaps even to automatically modify certain set points.

Such an expert system always includes:

- a reasoning mechanism, or inferencing motor which supervises a series of hypotheses and deductions for arriving at conclusions,

- a knowledge base - the knowledge made up on the one hand of the rules which are particular to a field of application, in this case the plant to be controlled, and which reflect the ability of a human expert, and on the other hand, of information on the immediate state to be analysed. This information comes from the sensors through the data base of the system and/or provided by the operator, the laboratory or the process engineers in the course of their dialogues with the control system.

A priori, the advantages of exploring this area of use are:

- the ability of the expert system to handle simultaneously quantified data and more or less accurate data expressed in ordinary language,

- the possibility of making constantly and instantly available to operators the know-how of the best and most experienced engineers and operators,

- the possibility of systems not, or only partially, physically linked to the process for small plants.

- the existence on the market of low-cost expert system development packages usable on micro-computers.

The rule-based modules in the ANPROC system are used for the general interface of the system - mostly based on graphics and on natural language dialogue - and for certain specific technical modules for diagnosis and advice on the plant operation. These modules are based on a commercial shell.

Two main points are under study:

- the on-line use of these modules (data capture from the data base and automatic initiation of the dialogue), and

- the procedure for extraction of knowledge from the engineers and operators.

5 - PHASE 4: TEST AND INDUSTRIAL APPLICATION

The first application and the testing of the system will be done at the china clay plant of the Kaolins d'Arvor, France. The system will be implemented in the watering-down and separation unit of the plant where sensors and programmable controllers are already installed.

The installation will be done in two phases:

- a first test in June 1989 on the existing plant automation system,

- a full application in the autumn of 1989 after installation of new sensors, actuators and programmable controllers.

Figure 3 shows the flowsheet of this part of the plant. The system will be linked to the programmable controllers through a commercial classical control system. The communication part of the system for this application is under development.

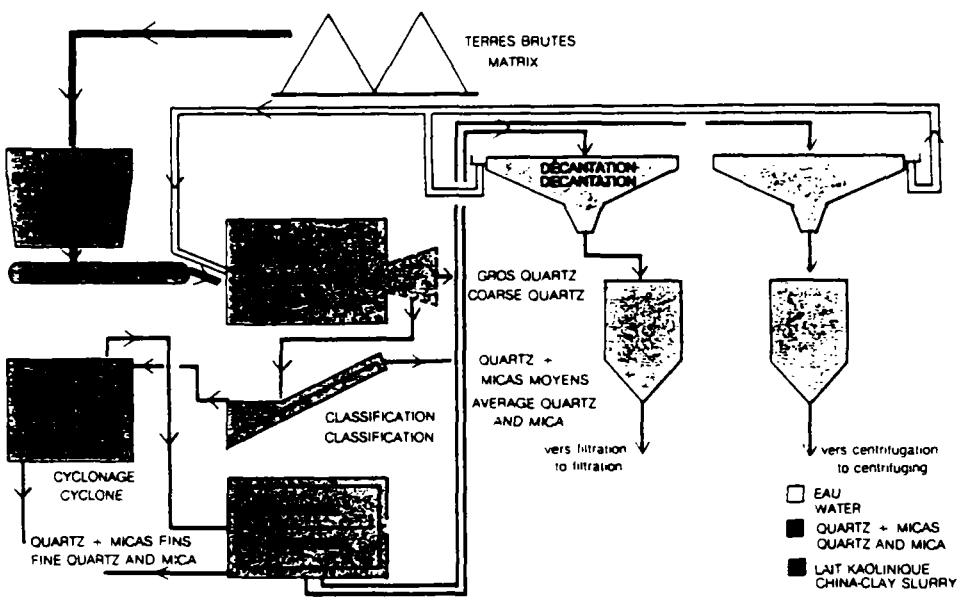


Figure 3 - Kaolins d'Arvor's watering-down and separation unit

The three main points to be clarified through this application are:

- the knowledge extraction methodology for plant engineers and operators,

- the interface between the system and the plant operator,

- the role of the expert-systems as managers of the system.

The dedicated simulator is partly developed and a target for the specific technical rule-based module is defined, this target is the classification stage of the unit.

6 - Conclusions

The general structure of the ANPROC control system has been defined and the main modules are at the programming stage. The partners involved (Coppée Lavalin, Belgium and the B.R.G.M., France) are developing the different technical modules and most of the research is oriented towards the rule-based modules and the simulation.

An application is planned between the spring and autumn of 1989 at the Kaolins d'Arvor plant, France. For this application, the specific simulator is partly developed and a target has been defined for the rule based module: the classification stage of the watering-down and separation unit of the plant.

After the installation of the control system, a "baby-sitting" time is planed for the adaptation of the system interface and the optimisation of the rules of the expert system.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A MODULAR, INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR MINERAL PROCESSING PLANTS

A. BROUSSAUD, J.C. GUILLANEAU, J.F. PASTOL
BRGM - FRANCE

M. JOURDAN, C. GHIBU, R. PERISSE
COPPEE LAVALIN - BELGIUM

CCE CONTRACT MA1M1/00 122/120

AIMS OF THE PROJECT

- A SUPERVISION SYSTEM USING ON-LINE ADVANCED ALGORITHMS AND RULE - BASED MODULES

- A FIRST REALISATION FOR THE CHINA CLAY PLANT OF KAOLINS D'ARVOR - FRANCE

GENERAL DEFINITION OF THE SYSTEM

- ADAPTABLE FOR ANY MINERAL PROCESSING PLANT
- INDEPENDANT OF THE PLANT AUTOMATION LEVEL
- MICRO-COMPUTER BASED SYSTEM
- HELP FOR PLANT OPERATION SUPERVISION AND DIAGNOSIS
- TRADITIONAL FUNCTIONS : FLOWSHEET DISPLAY,
  ALARM MANAGEMENT, DATA STORAGE,
  REPORT PREPARATION...

AN ON-LINE HELP FOR PLANT OPERATION AND OPTIMIZATION

OPERATOR-LABORATORY-PROCESS ENGINEERS

↑ ↓

ANPROC - PROCESS ANALYSIS SYSTEM

↑ ↓

"CLASSICAL" CONTROL SYSTEM

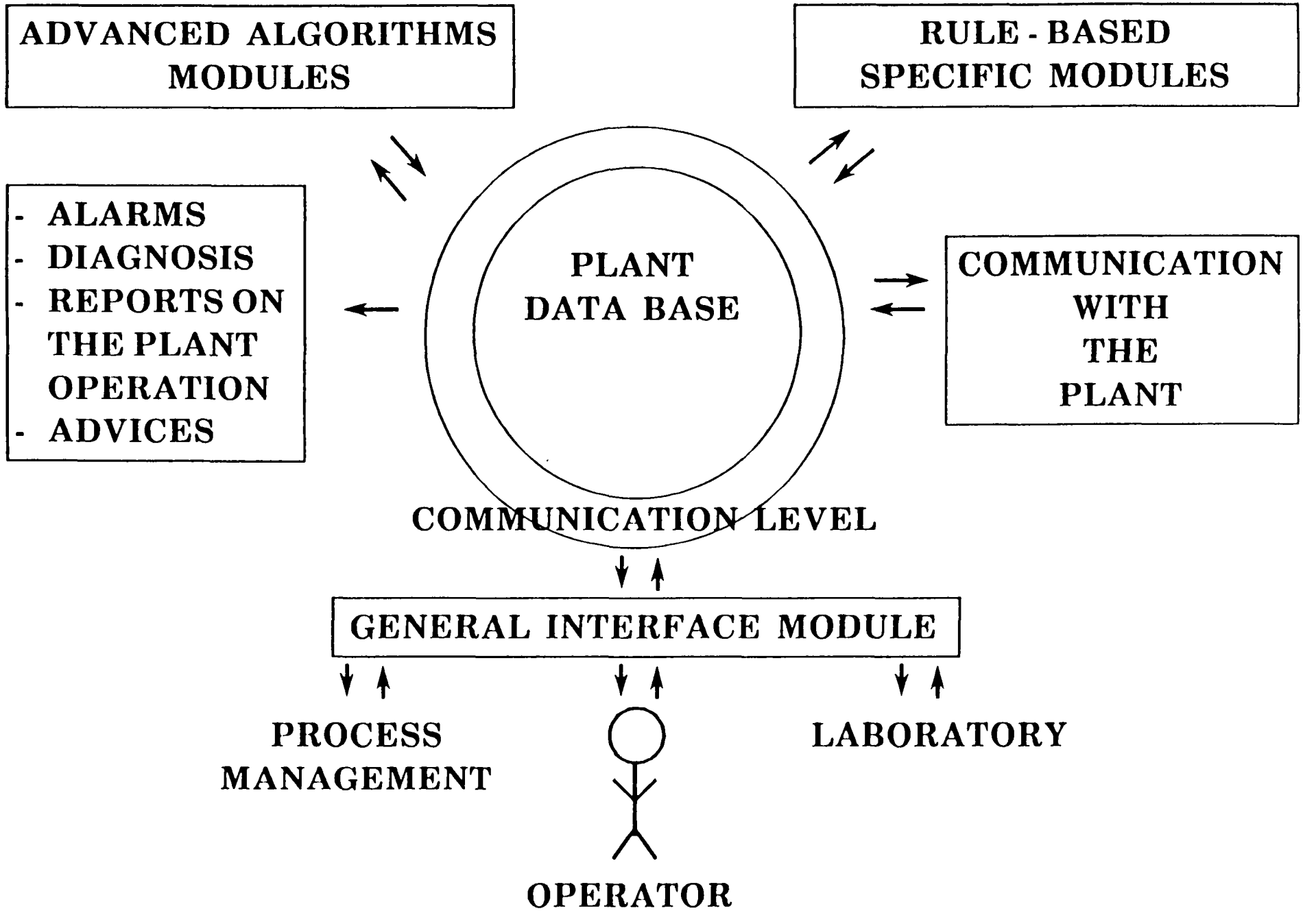
↑ ↓

REGULATION

↑ ↓

PLANT AUTOMATION
SENSORS - ACTUATORS

STRUCTURE OF THE SYSTEM



AN ON-LINE USE OF RULE - BASED MODULES

- FOR THE GENERAL INTERFACE OF THE SYSTEM :

  - DIALOGUE WITH THE OPERATOR

  - ACTIVATION OF THE TECHNICAL MODULES

- FOR SPECIFIC ANALYSIS

  - DIAGNOSIS OF THE PLANT OPERATION SENSORS, ACTUATORS, AND EQUIPMENT PERFORMANCE

  - ADVICE FOR PLANT OPERATION : SUGGESTIONS FOR THE OPTIMIZATION OF THE OPERATING CONDITIONS AND PREDICTION OF THE CONSEQUENCES OF THE OPERATOR ACTIONS

ON-LINE ADVANCED ALGORITHMS MODULES

- ECONOMIC OPTIMIZATION
- ON-LINE MASS BALANCE CALCULATIONS FOR DIAGNOSIS ON THE SENSORS AND DATA VALIDATION
- STATISTICAL DATA ANALYSIS
- STATISTICAL MODELLING
- ON-LINE PLANT SIMULATION

AN ON-LINE PLANT SIMULATION MODULE:

- **FOR THE PLANT OPERATION:**

  - PRODUCT QUALITY CONTROL

  - KNOWLEDGE ABOUT THE UNMEASURED STREAMS OF THE PLANT

  - DETECTION OF ORE QUALITY CHANGES

  - DIAGNOSIS ON THE UNIT OPERATION PERFORMANCES

- **FOR THE PLANT OPTIMIZATION:**

  - TEST OF THE BEST SETTINGS OF THE OPERATING PARAMETERS

  - TRIAL OF ALTERNATIVE FLOWSHEETS FOR THE PLANT (RECIRCULATING STREAMS, OPERATING CONDITIONS...)

A RESEARCH PROGRAM IN FOUR PHASES

PHASE 1 - SYSTEM STRUCTURE DEVELOPMENT

- *THE GENERAL STRUCTURE IS DEFINED*
- *THE MAIN MODULES ARE AT THE PROGRAMMING STAGE*

PHASE 2 - ON-LINE PLANT SIMULATION

- *THE STRUCTURE OF THE ON-LINE USE OF SIMULATION IS DEFINED*
- *THE SHELL OF THE SIMULATOR IS CREATED : USIM PAC SOFTWARE*

PHASE 3 - ON-LINE DECISION-MAKING EXPERT - SYSTEM MODULES

- *BASED ON A COMMERCIAL SHELL*
- *THE ON-LINE USE IS UNDER STUDIES*

PHASE 4 - TEST AND INDUSTRIAL APPLICATION

- *THE SYSTEM WILL BE INSTALLED IN THE CHINA CLAY PLANT OF KAOLINS D'ARVOR - FRANCE*
- *THE SIMULATOR OF THE WATERING DOWN AND SEPARATION PARTS OF THE PLANT IS UNDER DEVELOPMENT*
- *A TARGET IS DEFINED FOR THE RULE - BASED MODULE: THE CLASSIFICATION STAGE*

MAIN TOPICS
OF THE ACTUAL RESEARCH

- ON-LINE PLANT SIMULATION
  - *ON-LINE MODEL CALIBRATION*
  - *ON-LINE COMPARISON BETWEEN SIMULATED AND MEASURED VALUES FOR DIAGNOSIS*

- ON-LINE DECISION MAKING EXPERT SYSTEM
  - *ON-LINE USE OF A COMMERCIAL SHELL*
  - *KNOWLEDGE EXTRACTION FOR THE RULES CREATION*

- APPLICATION TO THE KAOLINS D'ARVOR PLANT
  - *CHOICE OF THE MODELS TO BE USED FOR THE SIMULATION*
  - *COMMUNICATION BETWEEN ANPROC, A CLASSICAL CONTROL SYSTEM AND THE PROGRAMMABLE CONTROLLERS OF THE PLANT*
  - *KNOWLEDGE EXTRACTION FOR THE RULES CREATION*

CONCLUSION

- THE GENERAL STRUCTURE OF THE ANPROC CONTROL SYSTEM IS DEFINED AND UNDER DEVELOPMENT

- THE "INTELLIGENT" MODULES ARE PARTLY INTEGRATED BUT WE NEED AN APPLICATION TO GO FURTHER

- INSTALLATION AT KAOLINS D'ARVOR WILL BE DONE IN THREE STEPS :

  - *SYSTEM INSTALLATION AND TESTING IN JUNE 1989*

  - *INSTALLATION OF NEW SENSORS AND ACTUATORS IN THE KAOLINS D'ARVOR PLANT IN AUGUST 1989*

  - *ADAPTATION AND "BABY SITTING" OF THE SYSTEM DURING THE FALL OF 1989*

Thank you very much

for your attention

- ANNEXE 3 -

PRESENTATION DU LOGICIEL DE SIMULATION USIM PAC

ANNEXE 3 - PRESENTATION DU LOGICIEL USIM PAC

I - STRUCTURE GENERALE

I.1 - Gestion des options
I.2 - Gestion du clavier

I - MISE EN OEUVRE DES OPTIONS

II.1 - OPTION 1 : création ou modification de flowsheet (graphique intéractif)
II.2 - OPTION 2 : rénumérotation du flowsheet
II.3 - OPTION 3 : description du modèle de minerai
II.4 - OPTION 4 : description des caractéristiques des appareils
II.5 - OPTION 5 : description de l'alimentation de l'usine et initialisation
II.6 - OPTION 6 : changement d'échelle pour un fichier initialisation
II.7 - OPTION 7 : fusion de deux fichiers initialisation
II.8 - OPTION 8 : changement de nom de fichier
II.9 - OPTION 9 : liste des fichiers disponibles
II.10 - OPTION 10 : sortie provisoire au système d'exploitation
II.11 - OPTION 11 : établissement d'un bilan matière cohérent
II.12 - OPTION 12 : ajustement d'un modèle aux données expérimentales
II.13 - OPTION 13 : détermination d'une propriété physique
II.14 - OPTION 14 : simulation d'un atelier complet
II.15 - OPTION 15 : dimensionnement d'un appareil
II.16 - OPTION 16 : calcul des coûts d'investissement
II.17 - OPTION 17 : présentation globale des résultats de la simulation
II.18 - OPTION 18 : présentation détaillée par flux des résultats de la simulation
II.19 - OPTION 19 : visualisation du fichier fonctionnement FICHIER.FON
II.20 - OPTION 20 : création d'un dossier complet
II.21 - OPTION 21 : tracé de courbes granulométriques
II.22 - OPTION 22 : tracé de courbes de partage
II.23 - OPTION 23 : visualisation des résultats de la courbe de partage
II.24 - OPTION 24 : impression des résultats de la courbe de partage
II.25 - OPTION 25 : impression du flowsheet

I - STRUCTURE GENERALE

I - STRUCTURE GENERALE

Une présentation générale du logiciel a été faite au paragraphe 3.b de ce présent rapport. Cette annexe présente de manière plus détaillée la mise en oeuvre du logiciel.

I-1 - GESTION DES OPTIONS

Pour une parfaite compréhension des fonctions de chacune des options des menus principaux, il est utile de considérer brièvement la structure générale d'**USIM PAC**.

Comme la figure I-1 le montre très schématiquement, il est nécessaire de disposer de quatre types de données pour réaliser des simulations :

- le flowsheet de l'usine (ou de l'atelier) simulée,
- le mode de représentation des flux de matière de l'atelier, c'est à dire le nombre de minéraux, la definition des classes de la distribution granulométrique du minerai,
- les paramètres de dimension ou de réglage des appareils de l'usine,
- la description quantitative détaillée des flux de matière alimentant l'usine.

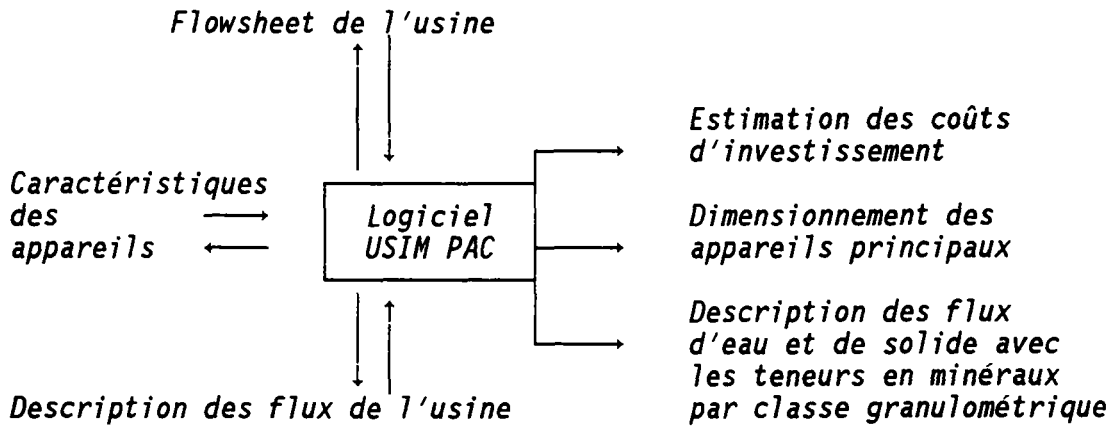


Figure I-1 : Structure simplifiée du logiciel USIM PAC

Dans **USIM PAC** ces quatre types de données sont mémorisés dans des fichiers individualisés. Cette structure modulaire vous permet de vous créer une bibliothèque de jeux de données associables, par exemple : plusieurs conditions opératoires pour un même flowsheet, différentes compositions du minerai en alimentation de l'usine, etc.

Cependant, les quatre types de données ne sont pas totalement indépendants :

- les paramètres des appareils ne peuvent être définis que pour un flowsheet donné : il faut connaître la nature des appareils de l'atelier et avoir identifié leur position dans le procédé pour pouvoir préciser les conditions opératoires,

- tous les flux de matière de l'usine sont représentés selon un même mode : ce mode doit avoir été précisé avant que ne soient décrits les flux d'alimentation de l'usine.

Il en résulte une hiérarchie des options en 4 niveaux schématisée figure I-2 :

- les niveaux 1 et 2 correspondent à des fonctions d'entrée, de consultation et de modification interactive de données,

- le niveau 3 correspond aux fonctions de calcul,

- le niveau 4 correspond aux fonctions d'examen des résultats.

Dans la mise en oeuvre d'une option, il est nécessaire de fournir des noms de fichiers créés par des options de niveau inférieur, sauf bien sûr pour une option de niveau 1. Cette contrainte ne risque pas d'entraîner d'erreur de manipulation, la cohérence de vos données étant systématiquement testée à tous les niveaux.

. Pour traiter un nouveau problème vous devez donc d'abord utiliser les options de niveau 1 :
  - option 1 pour spécifier le flowsheet,
  - option 3 pour spécifier le mode de représentation des flux de matière.

. Ces options créent des fichiers que vous réutiliserez avec les options de niveau 2 :
  - option 25 pour obtenir le tracé sur papier d'un flowsheet,
  - option 4 pour indiquer les paramètres de dimension ou de réglage des appareils,
  - option 5 pour préciser les flux de matière à l'entrée de l'usine.

. Le niveau 3 permet d'effectuer :
  - les traitements des données introduites par les niveaux 1 et 2,
  - option 11 : établissement d'un bilan matière cohérent,
  - option 12 : ajustement d'un modèle aux données expérimentales,
  - option 13 : détermination d'une propriété physique
  - option 14 : simulation d'un atelier complet
  - option 15 : dimensionnement d'un appareil
  - option 16 : calcul des coûts d'investissement

. Le niveau 4 permet de visualiser les résultats :
  - option 17 : affichage des débits globaux de minerai et d'eau, de la composition minérale ou chimique des flux et de la récupération en chacun des éléments par rapport à l'alimentation
  - option 18 : affichage des descriptions détaillées de chaque flux : distribution granulométrique, et pour chaque classe granulométrique composition minéralogique ou chimique.

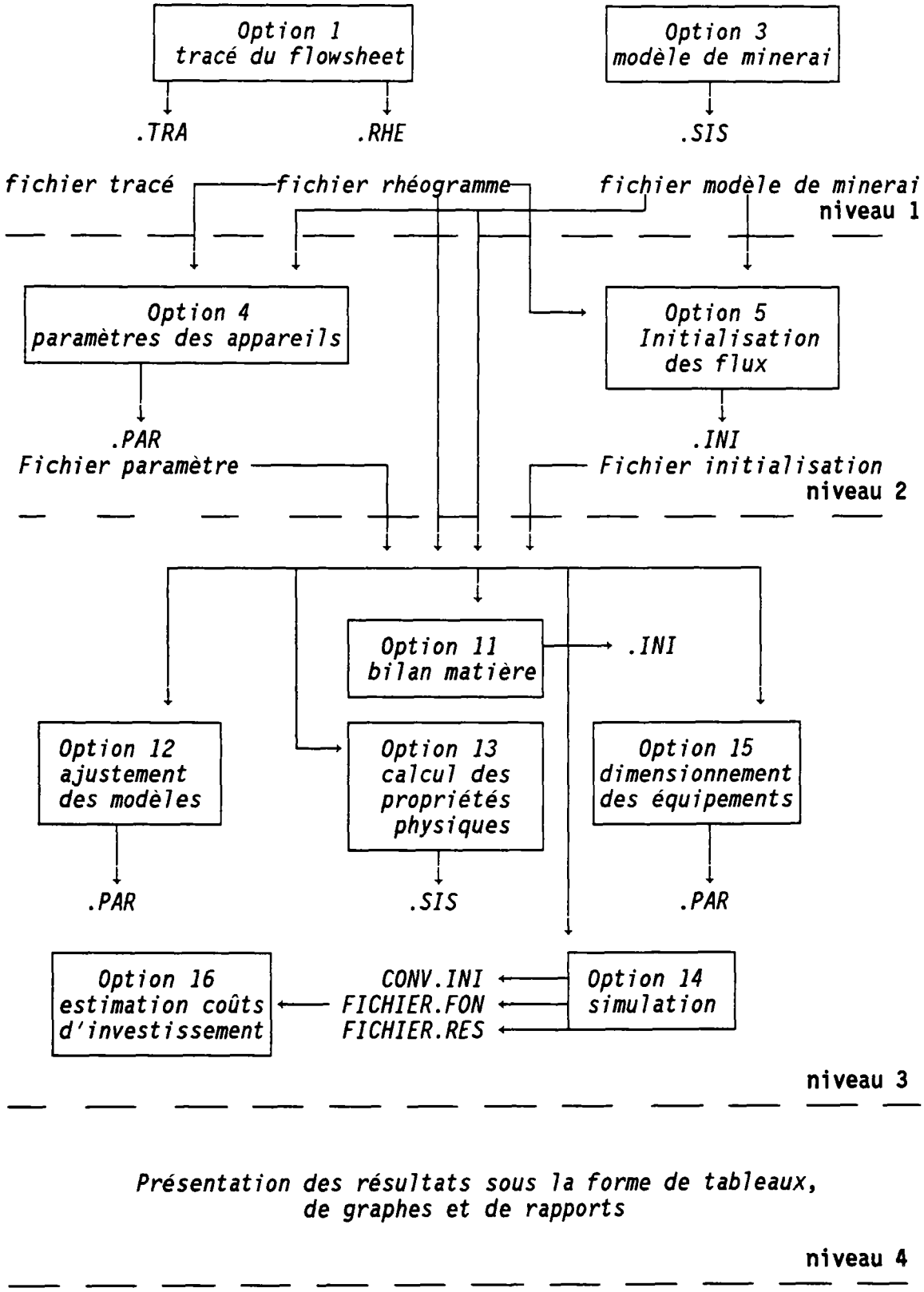


Figure I-2 : Structure schématique du logiciel USIM PAC

- option 19 : visualisation du fichier fonctionnement FICHIER.FON
- option 20 : création d'un rapport complet configurable reprenant non seulement les résultats d'une simulation mais aussi toutes les informations nécessaires à cette simulation
- option 21 : tracé de courbes granulométriques
- option 22 : tracé de courbes de partage
- option 23 : visualisation des résultats de la courbe de partage
- option 24 : impression des résultats de la courbe de partage
- option 25 : impression ou flowsheet.

. Les options 6, 7, 8 et 10 n'entrent pas dans cette structure hiérarchique :
- option 6 : changement d'échelle pour un fichier initialisation,
- option 7 : fusion de deux fichiers initialisation
- option 8 : changement de nom de fichier
- option 9 : affichage de la liste de fichiers de données mémorisés dans la librairie active du disque dur
- option 10 : sortie provisoire au système d'exploitation.

Les options d'**USIM PAC** sont regroupées en trois menus comme le montre la figure I-3 :

- le menu entrée des données et gestion de fichiers (cf. figure I-4), accessible par la clef **<F2>** qui regroupe les options de niveaux 1 et 2 ainsi que les options hors niveaux,

- le menu traitement des données (cf. figure I-5) accessible par la clef **<F3>**, qui regroupe les options de niveau 3,

- le menu présentation des résultats (cf. figure I-6), accessible par la clef **<F4>** qui regroupe les options de niveau 4.

Il est possible de passer de chacun des menus à n'importe quel autre en pressant la clef adéquate.

Un autre menu est prédéfini, accessible par la clef **<F5>** permettant d'intégrer des logiciels de l'utilisateur ou d'interfacer **USIM PAC** avec d'autres logiciels commercialisés.

Le logiciel **USIM PAC** est décomposé en quatre modules :

1 - Module de simulation
2 - Module d'aide à la conception
3 - Module de calibrage des modèles
4 - Module de développement de modèles.

Le module n° 1 est le module de base et regroupe les options n° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 et 25 ; le module n° 2, les options n° 15 et 16 ; le module n° 3, les options n° 11, 12 et 13 et le module n° 4, l'ensemble des fichiers, procédures et librairies nécessaires à l'ajout ou la modification d'icônes et de modèles.

I.2 - GESTION DU CLAVIER

A partir des différents menus, il est toujours possible d'accéder à un autre en utilisant les clefs de fonction **<F2>**, **<F3>**, **<F4>** et éventuellement **<F5>**.

A partir des menus principaux, pour accéder aux pages-écrans correspondant aux différentes options :

1. Tapez le chiffre caractéristique de l'option choisie. Il s'affichera en face de "votre choix ?" à la place du 1 indiquant que, si vous n'entrez aucune valeur, la première option du menu courant sera prise par défaut.

2. Pressez **<Esc>**. Cela permet d'accéder au choix entre trois actions qui s'affichent en bas de l'écran :

   <PgDn> : écran suivant, <PgUp> : écran précédent ou <Esc> pour retourner au menu

3. Pressez **<PgDn>** pour passer à la première page-écran de l'option choisie.

   Pour chaque page-écran du programme :

   - Utiliser les touches alphanumériques pour répondre aux questions inscrites sur l'écran et signalées par le pavé clignotant,
   - Pour passer d'une question à une autre, utiliser les touches "↑" et "↓".

```
USIM PAC                          MENU PRINCIPAL                    logiciel BRGM
═══════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════

        Progiciel d'Aide à la Conception des ateliers minéralurgiques

                 <F2>  Entrée des données et gestion de fichiers

                 <F3>  Traitement des données

                 <F4>  Présentation des résultats

                 <F5>  Autres options

                <F10> Sortie vers le système d'exploitation

═══Copyright (c) BRGM 1986-1991═══════════════════════════════════Version 1.20═══
```

Figure I-3 : Menu principal d'USIM PAC

```
USIM PAC                                MENU                          logiciel BRGM
═══════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════
                 Entrée des données et gestion de fichiers

     1 Création ou modification de flowsheet (graphique interactif)
     2 Renumérotation du flowsheet

     3 Description du modèle de minerai
     4 Description des caractéristiques des appareils
     5 Description de l'alimentation de l'usine et initialisation

     6 Changement d'échelle pour un fichier initialisation
     7 Fusion de deux fichiers initialisation
     8 Changement de nom de fichier
     9 Liste des fichiers disponibles
    10 Sortie provisoire au système d'exploitation

                              Votre Choix:   1

<F2> Entrée des données  <F3> Traitement des données <F5> Autres options
  et gestion de fichiers <F4> Résultats              <F10> Sortie
                                                       <ESC> pour continuer
═══Copyright (c) BRGM 1986-1990═══════════════════════════════════Version 1.20═══
```

Figure I-4 : Menu "Entrée des données et gestion des fichiers" d'USIM PAC

```
USIM PAC                              MENU                          logiciel BRGM
═══════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════

                          Traitement des données


   11 Etablissement d'un bilan matière cohérent

   12 Ajustement d'un modèle aux données expérimentales
   13 Détermination d'une propriété physique

   14 Simulation d'un atelier complet
   15 Dimensionnement d'un appareil

   16 Calcul des coûts d'investissement


                             Votre Choix:  11

<F2> Entrée des données  <F3> Traitement des données <F5> Autres options
  et gestion de fichiers <F4> Résultats              <F10> Sortie
                                                       <ESC> pour continuer
═══Copyright (c) BRGM 1986-1990═══════════════════════════════════Version 1.20═══
```

Figure I-5 : Menu "Traitement des données" d'USIM PAC

```
USIM PAC                              MENU                          logiciel BRGM
═══════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════
                          Présentation des résultats

   17 Présentation globale des résultats de la simulation
   18 Présentation détaillée par flux des résultats
   19 Visualisation du fichier fonctionnement FICHIER.FON
   20 Création d'un dossier complet

   21 Tracé de courbes granulométriques

   22 Tracé de courbes de partage
   23 Visualisation des résultats de la courbe de partage
   24 Impression des résultats de la courbe de partage

   25 Impression de flowsheet

                             Votre Choix:  17

<F2> Entrée des données  <F3> Traitement des données <F5> Autres options
  et gestion de fichiers <F4> Résultats              <F10> Sortie
                                                       <ESC> pour continuer
═══Copyright (c) BRGM 1986-1990═══════════════════════════════════Version 1.20═══
```

Figure I-6 : Menu "Présentation des résultats" d'USIM PAC

- Lorsque les réponses fournies à l'ensemble des questions posées sur une page-écran vous satisfont, pressez <**Esc**> puis :
  . <**PgUp**> pour revenir à la page-écran précédente
  . <**PgDn**> pour continuer et afficher la page suivante
  . <**Esc**> à nouveau pour revenir au menu
  . n'importe quelle touche pour revenir dans la page-écran que vous vous apprétiez à quitter.

Remarques :

- **Pour modifier une valeur numérique inférieure à 1, entrez par exemple 0.5 et non .5.**

- **Si vous avez peu l'habitude des claviers, la façon la plus simple pour corriger une erreur de frappe est probablement de quitter la question en faisant "↑" puis d'y revenir en tapant "↓" et de changer la valeur ou le mot erroné.**

- **Si vous avez l'habitude des claviers, lorsque vous répondez à une question :**

  . **pour passer à une question suivante vous pouvez utiliser soit "↓" soit <Return>**

  . **"←" élimine les chiffres dans un nombre ou passe au caractère précédent dans une chaîne de caractères**

  . **"→" passe au caractère suivant dans une chaîne de caractères ou passe à la question suivante lorsque un nombre était demandé**

  . **<Suppr> et <Untype> peuvent être utilisés pour effacer un caractère ou un chiffre.**

II - MISE EN OEUVRE DES OPTIONS

II.1 - OPTION 1 : CREATION OU MODIFICATION DE FLOWSHEET (GRAPHIQUE INTERACTIF)

Le premier écran (figure II-1) demande un nom de fichier à lire et un nom de fichier à créer.

Pour la création d'un flowsheet entièrement nouveau, n'indiquez pas le nom du fichier lu, mais seulement le nom du fichier créé, c'est-à-dire le nom que vous voulez donner aux fichiers qui mémoriseront votre flowsheet.

Cette façon de procéder est générale dans **USIM PAC** : vous ne devez indiquer un "fichier lu" que pour consulter ou modifier des données préalablement mémorisées.

Par contre, le "fichier créé" est obligatoire, mais vous avez le droit de lui donner le même nom que le "fichier lu". Le nouveau fichier se substituera alors à l'ancien.

L'utilisation de cette option est décrite pour un clavier. Si vous utilisez une souris, le bouton de droite est équivalent à la touche <+>, celui de gauche à la touche <Ins>.

```
USIM PAC                    TRACE DE FLOWSHEET                    logiciel BRGM

        NOM DU FICHIER A LIRE            NOM DU FICHIER A CREER

                DCAL                             EXO1


                    FIN DU TRACE ? (O/N)      N


                                                  <ESC> pour continuer
```

FIGURE II-1 : Création du flowsheet - Premier écran

Comme sur la figure II-1, indiquez :
fichier à lire : DCAL
fichier à créer : EXO1

puis <**Esc**> et <**PgDn**> pour passer à l'écran suivant.

Le flowsheet mémorisé dans le fichier flowsheet DCAL s'affiche sur l'écran (figure II-2) :

L'écran est divisé en 3 zones actives :
. à gauche le dessin du flowsheet
. à droite un menu
. en bas une zone d'affichage de messages.

Vous voyez aussi apparaître un réticule (+).

Les fonctions du menu sont résumées tableau 1. Pour vous familiariser avec ces fonctions, vous pouvez suivre l'exercice suivant :

Exercice

- Essayez les quatre flèches ↑ ↓ ← → pour déplacer le réticule. Le réticule se déplace avec une vitesse croissante.
  Positionnez le réticule sur l'une des cases <**MENU** →> ou <**MENU** ←> du menu.
  Pressez <**Ins**> : ces cases du menu font défiler en bas à droite la bibliothèque des symboles disponibles dans votre version d'**USIM PAC**. Cette bibliothèque est reproduite figure II-4.

- Amenez maintenant le réticule sur le symbole de votre choix, et appuyez sur <**Ins**>. Une croix apparaît à côté du symbole, qui visualise la commande active associée au réticule : vous pouvez à tout moment "désactiver" le réticule en pressant la clef <**+**>.
  Déplacez le réticule vers une zone libre du dessin et pressez <**Ins**>: le symbole choisi apparaît à cet endroit sur l'écran. L'appareil reste sélectionné et vous pouvez en insérer un autre du même type ou presser une nouvelle fois la clef <**+**> pour désélectionner ce symbole.

- Déplacez à nouveau le réticule vers la case <**FLUX PULPE**> du menu et pressez <**Ins**>. La croix apparaît : vous pouvez maintenant ajouter un flux de minerai (ou de pulpe) à votre flowsheet. Ce flux sera représenté sur le dessin par une succession de segments de droite terminés par une flèche.
  Positionnez le curseur au point de départ souhaité du flux et pressez <**Ins**>. Positionnez le ensuite au premier angle du flux et pressez <**Ins**>. Si vous voulez tracer un flux avec plusieurs angles, répétez l'opération. De la même façon, indiquez finalement la position de la pointe de la flèche et pressez <**Ins**>, puis <**+**> pour faire apparaître la flèche. Notez que la commande <**FLUX PULPE** > est toujours active et que vous pouvez dessiner un autre flux. Pour désactiver la commande pressez deux fois <**+**>.

- Ajoutez de façon analogue un <**FLUX EAU**>.

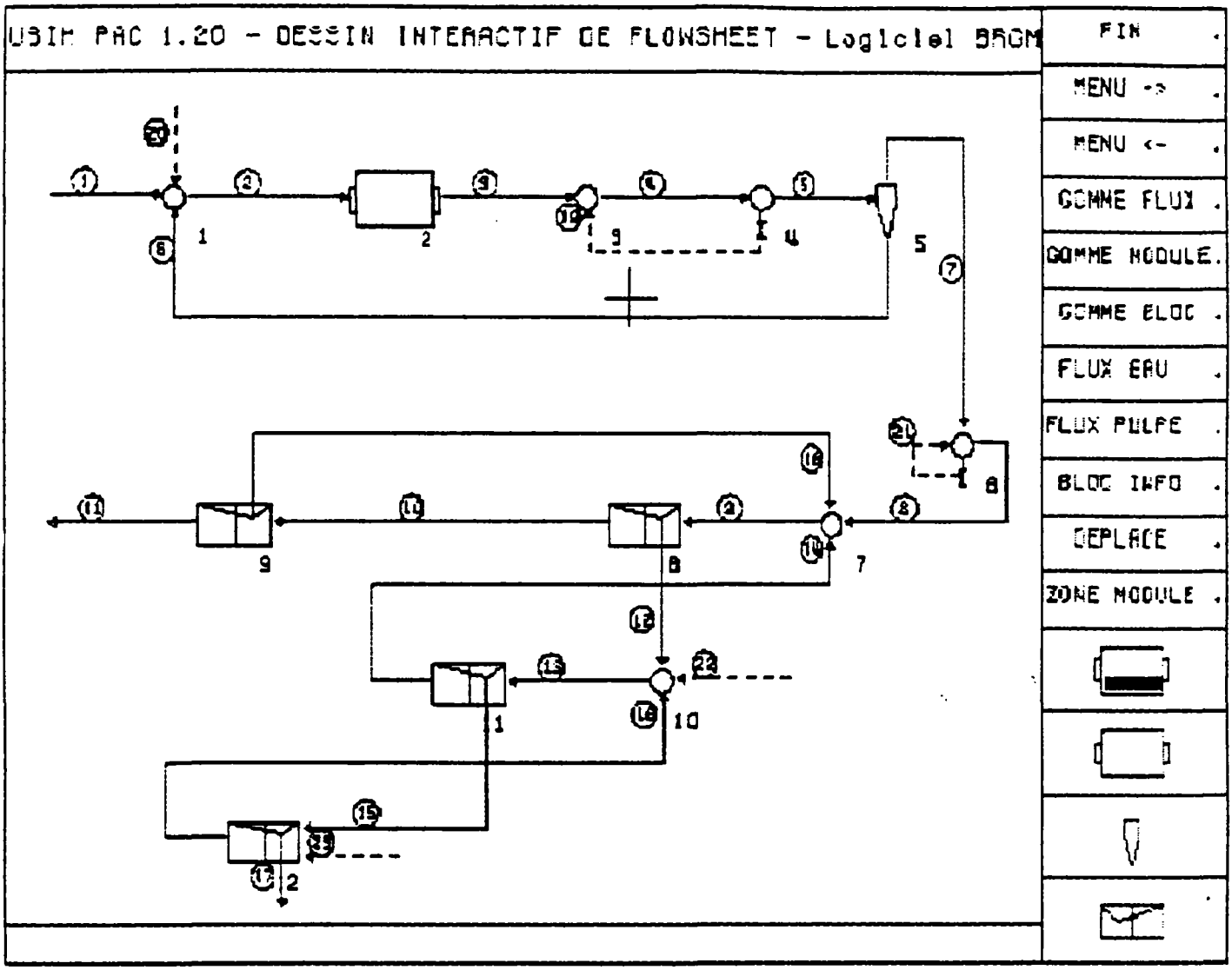


Figure II-2 : tracé de flowsheet sur écran

Dessin interactif de flowsheet : principales fonctions du menu

FIN — met fin au tracé de flowsheet - retourne au menu principal si le flowsheet est correct ou sinon à un écran de message d'erreur (figure II-3).

MENU ← — change les symboles (modules) présentés au bas du menu (équivalent à la touche <**U**> si vous utilisez un clavier).

MENU → — plusieurs pages sont disponibles (équivalent à la touche <**D**> si vous utilisez un clavier).

GOMME FLUX — doit être activée avant de détruire un flux. Placer ensuite le réticule à la pointe de la flèche marquant la fin du flux que l'on souhaite détruire puis appuyer sur <**Ins**>.

GOMME MODULE — doit être activée avant de détruire un module. Placer ensuite le réticule sur le module à détruire puis appuyer sur <**Ins**>.

GOMME BLOC — doit être activée avant de détruire un bloc d'information. Normalement inutile dans votre version d'**USIM PAC**.

FLUX EAU — doit être activée avant de dessiner un flux d'eau - voir mode opératoire dans le texte.

FLUX PULPE — doit être activée avant de dessiner un flux de minerai ou de pulpe - voir mode opératoire dans le texte.

BLOC INFO. — permet l'implantation d'un bloc d'information - ne doit pas être utilisé dans votre version d'**USIM PAC**.

DEPLACE — est utilisé pour déplacer une icône. Tout d'abord, sélectionnez cette option puis pressez la clef <**Ins**> sur l'icône que vous voulez déplacer. Après avoir déplacé le curseur sur la nouvelle position de l'icône, pressez une nouvelle fois sur la clef <**Ins**> pour faire réapparaître le symbole.

ZONE MODULE — vous permet de visualiser la "zone d'influence" qui existe autour de chaque icône (permettant de savoir si un flux entre - ou sort - réellement dans le module) et de visualiser les deux parties de cette zone. Si le module a deux flux de sortie, chaque flux de sortie doit partir d'une portion différente de la "zone d'influence".

- Servez-vous maintenant de **<GOMME FLUX>** pour supprimer successivement les flux que vous avez créés. Activez la fonction, puis placez votre réticule au voisinage immédiat de la pointe de la flèche à supprimer et pressez <Ins>.

- Supprimez de façon analogue l'appareil que vous avez ajouté avec la fonction **<GOMME MODULE>**.

- Lorsque le flowsheet affiché vous satisfait, positionnez votre réticule sur la fonction **<FIN>** et pressez <Ins>. Si votre tracé est correct, deux fichiers sont créés, qui mémorisent pour des applications ultérieures votre dessin (EXO1.TRA) et son interprétation en termes de procédé (EXO1.RHE).

Remarques importantes :

- **Le nombre de flux d'un flowsheet est limité à 60.**
- **Chaque appareil peut avoir de 1 à 5 flux d'alimentation.**
- **Broyeurs, concasseurs, pompes, alimentateurs et mélangeurs ne doivent avoir qu'un flux de sortie.**
- **Les autres appareils doivent avoir 2 flux de sortie, l'un partant du triangle supérieur droit de l'appareil, l'autre du triangle inférieur gauche. La figure II-4 montre de façon plus précise d'où les flux doivent partir.**
- **Si votre flowsheet n'est pas conforme (nombre ou positionnement incorrects des flux autour d'un appareil), un message d'erreur s'affiche (figure II-3). Vous pouvez alors, selon votre réponse à la question "Fin du Tracé ? (O/N)" :**
  - **soit sauvegarder uniquement le tracé (le circuit n'étant pas conforme le fichier flowsheet n'est pas créé),**
  - **soit aller corriger votre flowsheet.**
- **Si vous utilisez une souris, la touche de gauche correspond à la clef <Ins> et la touche de droite (ou centrale sur les souris à 3 boutons)**

```
USIM PAC                    TRACE DE FLOWSHEET                    logiciel BRGM
=================================================================================

        NOM DU FICHIER A LIRE            NOM DU FICHIER A CREER

                EXO1


 Le nombre de flux en sortie est incorrect pour le module numéro :   5

                        FIN DU TRACE ? (O/N)      N


                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-3 : Affichage de message d'erreur

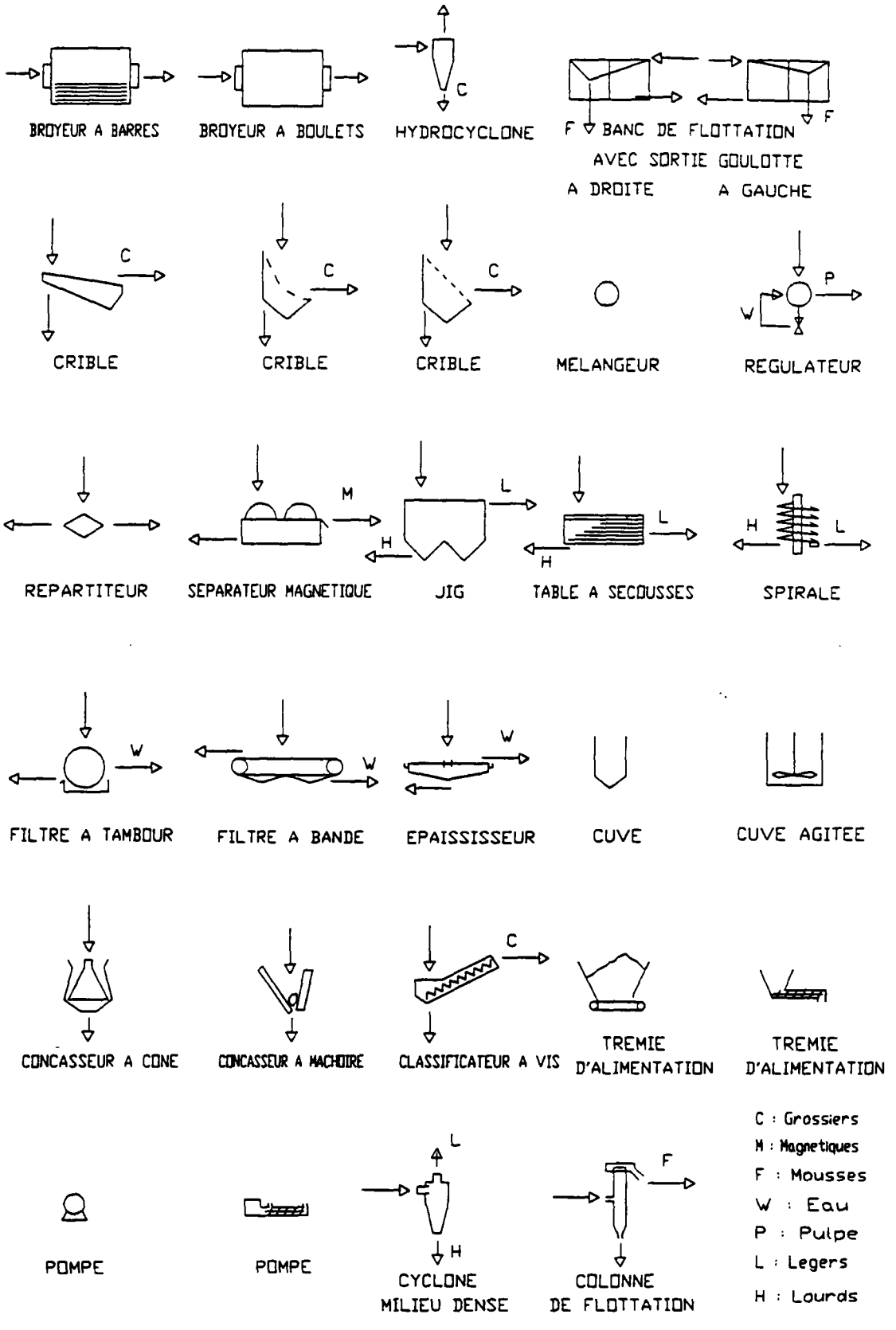


Figure II-4 : Bibliothèque des symboles

II.2 - OPTION 2 : RENUMEROTATION DU FLOWSHEET

Cette option d'**USIM PAC** permet de renuméroter un flowsheet généré par l'option n° 1 pour en augmenter la lisibilité et pour optimiser le temps de calcul lors de l'utilisation de l'option n° 14 (simulation). La figure II-5 présente l'écran de cette option. Les notions de "fichier à lire" et "fichier à créer" sont un peu différentes de celles vues au chapitre II-1 car cette option lit en fait les fichiers "tracé" (.TRA) et "rhéogramme" (.RHE) et en génère deux autres. Les fichiers renumérotés peuvent être visualisés à l'aide de l'option n° 1.

```
USIM PAC                RENUMEROTATION DU FLOWSHEET                logiciel BRGM
=================================================================================

        NOM DU FICHIER A LIRE              NOM DU FICHIER A ECRIRE

              DEXP                                DCAL

                                                        <ESC> pour continuer
```

Figure II-5 : Ecran de l'option 2 : Renumérotation de flowsheet

II.3 - OPTION 3 : DESCRIPTION DU MODELE DE MINERAI

USIM PAC effectue ses calculs sur des représentations mathématiques des flux de matière. Ces derniers sont représentés par :

- un débit solide en t/h,
- un débit d'eau en t/h (ou m3/h),
- deux types de distribution :
  . une distribution granulométrique,
  . une distribution minéralogique.

L'option 3 permet de définir ou modifier la description des distributions granulométriques du minerai : le minerai est assimilé à ND classes granulométriques définies par les mailles des tamis qui les bornent. Le choix de ND dépend de l'importance de la granulométrie dans le procédé simulé et du niveau d'information disponible pour sa prise en compte. ND peut varier de 2 (influence de la granulométrie négligée) à 21 (problème de broyage ou de classification granulométrique simulé en détail) :

$$2 \leq ND \leq 21.$$

D'autre part, certains modèles, comme la flottation de niveau 2, utilisent des paramètres définis flux par flux. Il faut spécifier le nombre de ces paramètres au niveau du premier écran de cette option.

La figure II-6, reproduit le premier écran de l'option 3. Les notions de "fichier à lire" et "fichier à créer" sont les mêmes que pour l'option 1 (voir § II.1, ci-avant).

Exercice

- Indiquez les noms comme sur la figure II-6,
- Entrez ensuite le nombre ND de tranches que vous souhaitez utiliser pour décrire la répartition granulométrique du minerai,
- Les autres valeurs affichées à l'écran vous indiquent le nombre de minéraux et de types de particules que comporte le modèle minéralogique, ainsi que le nombre de réactifs modélisés et de paramètres de flottation,

Puis pressez **<Esc>** et **<PgDn>** pour passer à l'écran suivant (figure II-7).

Remarques :

L'utilité de spécifier ou non des réactifs modélisés dépend des modèles. La présence de cette structure ouvre à l'utilisateur la possibilité d'incorporer des modèles complexes nécessitant ce genre de données.

```
USIM PAC                    MODELE DE MINERAI                    logiciel BRGM

        NOM DU FICHIER A LIRE          NOM DU FICHIER A CREER

            DEXP                              DEXP

        NOMBRE DE CLASSES GRANULOMETRIQUES  10

        NOMBRE DE MINERAUX   2

        NOMBRE DE TYPES DE PARTICULES        2

        NOMBRE DE REACTIFS MODELISES         0

        NOMBRE DE PARAMETRES DE FLOTTATION   0

                                                <ESC> pour continuer
```

Figure II-6 : Description du modèle de minerai - Premier écran

L'utilisation de paramètres de flottation dépend des modèles que l'on souhaite utiliser. Chacun de ces paramètres permet de décrire une sous-population de chacun des constituants minéralogiques, ce qui permet de définir notamment des classes de comportements différents dans un appareil pour un même type de particules, comme par exemple, une partie de la population flottant lentement.

Indiquez ensuite, par ordre décroissant, les ND mailles de tamis représentant les bornes supérieures des tranches granulométriques.

Remarque :

- **Il faut choisir le premier tamis de la description (le plus gros) tel qu'en tout point du circuit, il y ait toujours 100 % de passants à travers ce tamis.**

- **Le bas de l'écran présente les propriétés des minéraux utilisés dans les simulations. La densité de chaque minéral doit obligatoirement être spécifiée. Par contre, l'ajout de valeurs correspondant à d'autres propriétés dépend des modèles utilisés pour la simulation. Par exemple, si vous prévoyez l'emploi d'un modèle de broyeur à boulets nécessitant un "Work Index", le "Work Index" (l'indice énergétique de Bond) de chaque minéral doit être spécifié dans une des colonnes.**

```
USIM PAC                    MODELE DE MINERAI                    logiciel BRGM
═══════════════════════════════════════════════════════════════════════════════

CLASSES GRANULOMETRIQUES: BORNES SUPERIEURES (µm) par ordre décroissant

    15000   10000    5000    4000     850     500     315     175      80

       40


MINERAUX:  NOM     DENSITE    PROPRIETES PHYSIQUES
                                          Colonne numéro
                                     1        2        3        4        5
           CHAL     3.700       15.000   10.000   10.000   10.000   20.000

           GANG     3.100       15.000   30.000   60.000   60.000   90.000

                      .

                      .

                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-7 : Description du modèle de minerai - Deuxième écran

Presser ensuite <**Esc**> et <**PgDn**> pour passer à l'écran suivant (figure II-8).

Cet écran vous permet de spécifier le nom de chaque type de particules et sa composition en minéraux. En simulation, on considère très souvent qu'il n'y a que des particules libérées et, dans ce cas, le 1er type de particule correspond au premier minéral, le 2ème au second,... comme montré en figure II-8.

Remarque :

Pour chaque type de particules la somme des constituants doit être égale à 1.

Comme pour l'écran précédent (fig. II-7), vous pouvez, en fonction des modèles utilisés au cours de la simulation, spécifier des propriétés physiques. Ces propriétés, numérotées entre 6 et 10 concernent les types de particules et non les minéraux, contrairement aux propriétés 1 à 5.

Presser ensuite <**Esc**> et <**PgDn**> pour retourner au menu principal et continuer.

USIM PAC MODELE DE MINERAI logiciel BRGM

TYPES DE PARTICULES :
NOMS COMPOSITION MINERALOGIQUE PROPRIETES PHYSIQUES

					Colonne numéro				
	CHAL	GANG			6	7	8	9	10
CHAL	1.000	0.000	.	.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
GANG	0.000	1.000	.	.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	.	.	.	.					
	.	.	.	.					

REACTIFS : NOMS

<ESC> pour continuer

Figure II-8 : Description de la composition minéralogique

II.4 - OPTION 4 : DESCRIPTION DES CARACTERISTIQUES DES APPAREILS

Cette option permet de définir ou de modifier les paramètres de dimension et d'opération (diamètre d'un broyeur, par exemple) des appareils d'un flowsheet.

La figure II-9 reproduit le premier écran de l'option 4. Les notions de "fichier à lire" (facultatif) et "fichier à créer" (obligatoire) sont les mêmes que pour l'option 1 (voir § II.1, ci-avant).

Les noms du fichier "flowsheet" et du fichier "modèle de minerai" permettent de définir quels sont respectivement :

- le flowsheet pour lequel vous souhaitez faire l'acquisition des paramètres (le nom du fichier a été donné lors de l'utilisation de l'option 1),
- le mode de description des flux (le nom du fichier a été donné lors de l'utilisation de l'option 3).

Il faut obligatoirement spécifier ces deux noms (cf. figure I-2).

```
USIM PAC                CARACTERISTIQUES DES APPAREILS          logiciel BRGM
=================================================================================

        NOM DU FICHIER A LIRE              NOM DU FICHIER A CREER

              DEXP                                DEXP


              FLOWSHEET                     MODELE DE MINERAI

              DCAL                                DEXP


                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-9 : Description des caractéristiques des appareils - Premier écran

La procédure à suivre ensuite varie légèrement selon qu'il s'agit de :

- définir les paramètres de dimension et d'opération des appareils d'un flowsheet pour lequel cette opération n'a jamais été réalisée et donc créer un fichier "paramètre" nouveau,
- modifier les paramètres d'un ou plusieurs appareils d'un fichier "paramètre" déjà existant.

II.4.1 - CREATION D'UN FICHIER

(vous n'avez pas spécifié de nom de "fichier à lire" sur le premier écran de l'option 4 (figure II-9).

Pour chacun des appareils du flowsheet , représenté par son numéro dans le flowsheet, le programme demande de spécifier :

- éventuellement le type, lorsque le choix entre plusieurs appareils de même catégorie existe (par exemple lorsque l'usine comporte plusieurs tables à secousses de caractéristiques différentes). La figure II-10, reproduit un exemple de l'écran qui s'affiche alors,

- obligatoirement les paramètres de dimension et d'opération de l'appareil considéré. La figure II-11 montre un exemple de l'écran d'acquisition de ces données.

Remarque :

Lors de l'affichage de cet écran, les valeurs par défaut des paramètres sont présentées. Vous pouvez évidemment soit les conserver, soit les changer.

```
USIM PAC                CARACTERISTIQUES DES APPAREILS          logiciel BRGM

                              APPAREIL No  2

                           BROYEUR A BOULETS

                          BROYEUR NIVEAU 1          1

                          BROYEUR NIVEAU 2          2

                          BROYEUR NIVEAU 3          3

                          BROYEUR NIVEAU 0          4

                                                    5

                              VOTRE CHOIX ?         1

                                                  <ESC> pour continuer
```

Figure II-10 : Choix entre plusieurs appareils

USIM PAC	CARACTERISTIQUES DES APPAREILS	logiciel BRGM

APPAREIL No 2
BROYEUR NIVEAU 1

Nombre de broyeurs en parallèle	1.00000
Diamètre interne du broyeur (m)	3.05000
Rapport longueur/diamètre	1.00000
Coefficient de remplissage des boulets (%)	40.00000
Fraction de la vitesse critique	0.75000
Densité des boulets	7.80000
N° colonne prop. phys.: Work Index (kWh/short ton)	1.00000
Type de décharge (0/1): 0 = débordement, 1 = grille	0.00000

<ESC> pour continuer

Figure II-11 : Description des dimensions et paramètres opératoires d'un appareil.

II.4.2 - MODIFICATION DE PARAMETRES

(vous avez spécifié un nom de "fichier à lire" sur le premier écran de l'option 4 (figure II-9)).

L'écran qui s'affiche à la suite de celui présenté figure II-9 vous permet d'indiquer le numéro de l'appareil pour lequel vous souhaitez modifier des paramètres (ce numéro est celui de l'appareil dans le flowsheet). En fonction du numéro choisi, l'écran (présenté figure II-12) affiche le nom de l'appareil correspondant (broyeur à boulets dans l'exemple présenté figure II-12) afin de vous permettre de vérifier votre choix.

Si vous souhaitez effectivement faire des modifications de paramètres pour cet appareil, répondez N à la question "fin des modifications" puis passez à l'écran suivant (**<Esc>** **<PgDn>**) qui se présente sous la même forme que celui reproduit en figure II-11.

Faites les modifications souhaitées puis passez à l'écran suivant : vous revenez alors à l'écran de la figure II-12.

Vous pourrez alors :

- soit recommencer la même procédure pour aller modifier les paramètres d'un autre appareil,
- soit, si vous avez achevé vos modifications, sortir de l'option en répondant"O" à la question "fin de modification O/N" puis **<Esc>** et **<PgDn>**. Vous revenez alors au menu principal.

```
USIM PAC                CARACTERISTIQUES DES APPAREILS          logiciel BRGM
═══════════════════════════════════════════════════════════════════════════════

                 MODIFICATION DE MODELE OU DE PARAMETRES



        No DE L'APPAREIL   2        MODELE  BROYEUR NIVEAU 1

                      modèles disponibles  BROYEUR NIVEAU 1
                                           BROYEUR NIVEAU 2
                                           BROYEUR NIVEAU 3
                                           BROYEUR NIVEAU 0

                    FIN DES MODIFICATIONS (O/N)  N

                                                 <ESC> pour continuer
```

Figure II-12 : Modification de paramètres pour un appareil

II.5 - OPTION 5 : DESCRIPTION DE L'ALIMENTATION DE L'USINE ET INITIALISATION

Cette option a en réalité deux fonctions distinctes :

- une fonction obligatoire : la spécification des flux de matière entrant dans l'usine, en débit et en qualité,
- une fonction facultative : l'initialisation de certains flux internes de l'usine.

La mise en oeuvre de cette fonction facultative permet de réduire le temps de calcul. Le calcul d'**USIM PAC** est en effet itératif et, à chaque itération, **USIM PAC** se rapproche du résultat correspondant à une situation d'équilibre. Si, dès le départ, certains flux sont décrits relativement proches de leur état final, alors le résultat final (convergence) est atteint plus rapidement. Vous êtes entièrement libres de spécifier ou non n'importe quel flux. Tout flux non spécifié est pris au départ nul. Vous pouvez tout à fait ignorer cette fonction facultative d'initialisation, au moins tant que nous n'êtes pas très familiarisé avec **USIM PAC**. Ultérieurement, vous pourrez l'essayer si vous estimez utile de réduire la durée des calculs.

D'autre part, l'initialisation de tous les flux peut être nécessaire pour l'établissement d'un bilan matière cohérent ou de seulement certains d'entre eux pour l'utilisation des options numéros 12, 13 et 15 de calibrage.

Les figures II-13 à II-15 montrent les écrans pour l'initialisation du flux 1.

La figure II-13 présente le premier écran de l'option 5. Les notions de "fichier à lire" (facultatif) et "fichier à créer" (obligatoire) sont les mêmes que pour l'option 1 (voir § II-1 ci-avant). Comme pour l'option 4, il faut obligatoirement spécifier le nom du fichier "flowsheet" et celui du fichier "modèle de minerai" afin de définir quels sont :

- le flowsheet pour lequel vous souhaitez décrire l'alimentation (ou initialiser un ou plusieurs flux),
- le mode selon lequel seront décrits les flux.

L'écran suivant, présenté figure II-14, permet de préciser le numéro du flux que vous allez décrire (répondez N à la question "fin de l'initialisation"), ou de mettre fin aux descriptions de flux d'initialisation (répondez O à la question "fin de l'initialisation").

```
USIM PAC                    INITIALISATION                    logiciel BRGM

        NOM DU FICHIER A LIRE          NOM DU FICHIER A CREER
              DEXP                           DEXP

              FLOWSHEET                  MODELE DE MINERAI
              DCAL                           DEXP

                                                  <ESC> pour continuer
```

Figure II-13 : Description de l'alimentation de l'usine - Premier écran

```
USIM PAC                    INITIALISATION                    logiciel BRGM

                    INITIALISATION DU FLUX CHOISI

                         No DU FLUX     1

                  FIN DE L'INITIALISATION (O/N)  N

                                                  <ESC> pour continuer
```

Figure II-14 : Description de l'alimentation de l'usine - Sélection des flux initialisés

Le troisième écran de l'option, présenté figure II-15, permet de définir :

* pour chaque classe granulométrique, le pourcentage pondéral de cette classe et la teneur en chacun des constituants,

* le débit solide et le débit liquide du flux.

Remarques :

- **Dans une classe, la somme des teneurs doit être égale à 100.**

- **La somme des pourcentages pondéraux des classes granulométriques doit être égale à 100.**

Si ce n'est pas le cas, un message d'erreur s'affiche et il faut alors corriger la description des classes granulométriques.

USIM PAC INITIALISATION logiciel BRGM

DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE POUR LE FLUX 1
DEBIT SOLIDE (t/h) 59.300 DEBIT LIQUIDE (t/h) 3.100

MAILLE micron	POIDS %	TENEUR CHAL	TENEUR GANG	MAILLE micron	POIDS %	TENEUR
15000	2.00	10.35	89.65			
10000	11.73	9.59	90.41			
5000	10.20	10.53	89.47			
4000	36.42	10.41	89.59			
850	11.40	9.76	90.24			
500	4.50	10.24	89.76			
315	4.80	10.29	89.71			
175	2.00	10.47	89.53			
80	6.70	14.82	85.18			
40	10.25	10.47	89.53			
	100.00	10.54	89.46			

<ESC> pour continuer

Figure II-15 : Description de l'alimentation de l'usine Distribution granulométrique - Débit solide - Débit d'eau.

Presser ensuite <**Esc**> et <**PgDn**> pour passer à l'écran suivant :

Le dernier dépend du modèle de minerai que vous utilisez : si lors de la description de ce dernier, vous avez spécifié un nombre de réactifs modélisés différent de 0, l'écran présenté figure II-16 s'affiche et vous permet de définir, pour le flux considéré, les débits correspondant à ces réactifs.

Remarques :

L'unité servant à décrire ces débits n'est pas spécifiée sur l'écran. En effet, les modèles de cellules de flottation présents au départ dans votre version ne prennent pas en compte les réactifs de flottation. Le choix de l'unité est donc laissé à la discrétion du programmeur qui réalisera et incorporera dans USIM PAC des modèles utilisant ces données.

Pressez ensuite les clefs <**Esc**> et <**PgDn**> pour passer à l'écran suivant.

```
USIM PAC                          INITIALISATION                    logiciel BRGM

                  DEBITS DE REACTIFS POUR LE FLUX  1

           DEBIT SOLIDE (t/h)   59.300 DEBIT LIQUIDE (t/h)    3.100


 REACTIFS :      REA1       REA2

 DEBITS   :       0.100      0.200


 REACTIFS :

 DEBITS   :


                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-16 : Introduction des débits de réactifs.

Si vous avez spécifié lors de la description du modèle de minerai un nombre de paramètres de flottation différent de 0, l'écran présenté figure II-17 s'affiche et vous permet de spécifier, pour chacun des types de particules, le pourcentage de la population ayant un comportement correspondant à chacun des paramètres. La signification de ces paramètres de flottation dépend du modèle utilisé. PHI1 par exemple peut être la proportion de la population d'alimentation ayant un comportement lent lors de la flottation, pour un modèle distinguant plusieurs classes de comportement pour chacun des types de particules.

Pressez ensuite les clefs **<Esc>** et **<Pgdn>** pour passer à l'écran suivant et revenir ainsi à l'écran de la figure II-14.

```
USIM PAC                          INITIALISATION                    logiciel BRGM

                PARAMETRES DE FLOTTATION DANS LE FLUX  1

 TYPES DE                          PARAMETRES :
 PARTICULES :

                     Rlim        PHI1        PHI3        PHI4

       CHAL          85.00       70.00

       GANG          40.00       88.00

                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-17 : Introduction des paramètres de flottation

II.6 - OPTION 6 : CHANGEMENT D'ECHELLE POUR UN FICHIER INITIALISATION

II.6.1 - INTRODUCTION

L'option n° 6 d'**USIM PAC** permet de créer un fichier "initialisation" homothétique d'un fichier "initialisation" de données ou de convergence (**CONV.INI**, cf. le chapitre II.14), tous les débits ayant été multipliés par un même facteur. Cette fonction engendre des gains de temps importants lors des études d'augmentation de capacité, ou d'extrapolation de l'échelle pilote à l'échelle industrielle.

II.6.2 - MISE EN OEUVRE

L'écran présenté à la figure II-18 présente les champs "fichier à lire" et "fichier à créer" comme pour l'option n° 1 par exemple (cf chapitre II-1). Le "fichier à créer" sera donc une copie du "fichier à lire" avec tous les débits (solides, liquides et réactifs) multipliés par un même facteur. Ce facteur d'échelle est demandé dans le champ qui se trouve au centre de l'écran. Il doit être compris entre 0.01 et 9999.99 mais un test dépendant des valeurs des débits du "fichier à lire" limite ce facteur pour que les débits calculés soient manipulables par **USIM PAC**.

```
USIM PAC  CHANGEMENT D'ECHELLE POUR UN FICHIER INITIALISATION  logiciel BRGM
=================================================================================

        NOM DU FICHIER A LIRE              NOM DU FICHIER A CREER

              DCAL                                 DOPT1


                        FACTEUR D'ECHELLE

                                1.20


                                                  <ESC> pour continuer
```

Figure II-18 : Changement d'échelle pour un fichier initialisation.

II.7 - OPTION 7 : FUSION DE DEUX FICHIERS INITIALISATION

II.7.1 - INTRODUCTION

La fonction n° 7 d'**USIM PAC** est particulièrement utile pour fusionner des données expérimentales et des valeurs obtenues par simulation pour préparer l'établissement d'un bilan matière cohérent. Comme il a été vu au chapitre A.III, il est nécessaire de rendre cohérentes les données recueillies en usine pilote ou en unité industrielle. L'établissement d'un bilan matière cohérent est réalisé par l'option n° 11 d'**USIM PAC** (cf. chapitre II.11) mais nécessite un fichier initialisation contenant la description de tous les flux.

Pour ce faire, on ne dispose, en général, que d'informations fragmentaires ne portant que sur quelques flux échantillonnés dans l'installation ; ces informations doivent être rassemblées dans un fichier "initialisation" que nous appelerons fichier "expérimental".

A partir des informations expérimentales obtenues, une simulation préliminaire peut être réalisée (par l'option 14 d'**USIM PAC**) avec des modèles non ajustés pour obtenir un fichier complet CONV.INI (contenant une description grossière de tous les flux). Ce fichier peut être renommé et nous l'appelerons fichier "simulé".

Avant d'effectuer un bilan matière sur l'installation, il convient de réunir les informations issues des fichiers "expérimental" et "simulé" pour obtenir un fichier complet contenant des informations sur tous les flux et comportant toutes les données les plus riches que sont les mesures expérimentales. Ce fichier contient toutes les informations contenues dans le fichier "expérimental" et les flux non mesurés sont décrits avec les données simulées.

II.7.2 - MISE EN OEUVRE DE L'OPTION

Comme le montre la figure II-19, l'option 7 nécessite la définition d'un fichier principal (le fichier "expérimental"), d'un fichier secondaire (le fichier "simulé") et d'un fichier résultant (le nom du fichier initialisation qui va être créé). Il suffit ensuite de presser les touches **<ESC>** et **<PgDn>** pour revenir au menu principal d'**USIM PAC**.

```
USIM PAC        FUSION DE DEUX FICHIERS D'INITIALISATION        logiciel BRGM
=================================================================================

        NOM DU FICHIER PRIORITAIRE
                 DEXP
                                                NOM DU FICHIER RESULTANT
                                                         DCOM
        NOM DU FICHIER SECONDAIRE
                 DSIM

                                                      <ESC> pour continuer
```

Figure II-19 : Option n° 7 d'USIM PAC

II.8 - OPTION 8 : CHANGEMENT DE NOM DE FICHIER

II.8.1 - INTRODUCTION

Cette option permet de faire une copie des fichiers :

.RHE : fichier "rhéogramme"
.TRA : fichier "tracé"
.SIS : fichier "modèle de minerai"
.PAR : fichier "paramètre"
.INI : fichier "initialisation"
.BIL : fichier "bilan matière"
.RES : fichier "résultat"
.FON : fichier "fonctionnement"
.PRN : fichier "dossier"

Cette option est particulièrement utile pour créer une sauvegarde des fichiers dont le nom est invariable comme :

FICHIER.RES : généré par l'option n° 14
FICHIER.FON : généré par l'option n° 14
CONV.INI : généré par l'option n° 14
DOSSIER.PRN : généré par l'option n° 20

II.8.2 - MISE EN OEUVRE DE L'OPTION

L'option n° 8 d'**USIM PAC** se présente sous la forme de deux colonnes (cf. figure II-20). La colonne de gauche correspond aux noms des fichiers qui vont être copiés. **Ces noms doivent être spécifiés avec leurs extensions**. La colonne de droite correspond aux noms des fichiers qui vont être créés. Ces noms ne comportent pas d'extensions car celles-ci sont conservées du fichier d'origine au fichier généré par cette option.

Cette option permet de **copier sept fichiers en une seule fois**. Pour revenir au menu "Entrée des données et gestion des fichiers", il suffit de presser les touches <**Esc**> et <**PgDn**>.

```
USIM PAC                    CHANGEMENT DE NOM DE FICHIER                logiciel BRGM
═══════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════

        Nom de fichier à renommer            Nouveau nom de fichier
             (avec extension)
               CONV.INI                              DCAL

               FICHIER.FON                           DCAL

               FICHIER.RES                           DCAL

                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-20 : Option n° 8 : changement du nom de fichier.

II.9 - OPTION 9: LISTE DES FICHIERS DISPONIBLES

Cette option permet d'afficher la liste des fichiers de données disponibles dans le répertoire courant du disque dur et leur nature (cf. figure II-21) :

.RHE pour les fichiers "flowsheet"
.SIS pour les fichiers "modèle de minerai"
.INI pour les fichiers "initialisation"
.PAR pour les fichiers "paramètres".

S'il existe plus de 100 fichiers de données disponibles, seuls les 100 premiers noms seront affichés. Utiliser alors les commandes MS/DOS pour lister l'ensemble des fichiers (DIR, DIR/P, DIR *.RHE ou DIR/W).

```
USIM PAC                          LISTE DES FICHIERS                    logiciel BRGM
═══════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════════

  DCAL     RHE    DEXP     RHE    DCAL     SIS    DEXP     SIS    DCAL     INI

  DCOH     INI    DCOM     INI    DEXP     INI    DOPT1    INI    DSIM     INI

  CONV     INI    DCAL     PAR    DEXP     PAR    DOPT1    PAR    DOPT2    PAR

═══════════════════════════════════════════════════════<ESC> pour continuer═══
```

Figure II-21 : Liste des fichiers

II.10 - OPTION 10 : SORTIE PROVISOIRE AU SYSTEME D'EXPLOITATION

Cette option permet d'accéder temporairement au système d'exploitation pour utiliser des fonctions qui lui sont propres comme le formattage ou la lecture d'une disquette, l'impression ou la visualisation d'un fichier...

Pour revenir au menu "Entrée des données et gestion des fichiers" d'**USIM PAC** il suffit de taper **EXIT**.

II.11 - OPTION 11 : ETABLISSEMENT D'UN BILAN MATIERE COHERENT

II.11.1 - INTRODUCTION

Avant d'effectuer la simulation d'une installation existante en vue de son optimisation, il faut acquérir une connaissance quantitative de sa marche actuelle. Ceci est indispensable pour calibrer les modèles d'opération unitaire utilisés lors de la simulation. Il faut connaître les performances instantanées de l'installation, au moins à une date donnée, sous la forme des **caractéristiques de tous les flux** (nature, débits, distribution granulométrique, teneurs des minéraux par classe) circulant dans l'installation. La base de cette connaissance est l'acquisition de données (mesures de débits, prélèvements et analyses granulométriques, minéralogiques et chimiques d'échantillons) dans l'installation en marche, **en faisant l'hypothèse d'un fonctionnement de l'installation en régime permanent équilibré.**

Aussi élaborée soit elle, une campagne de mesure ne suffit en pratique pas à établir un bilan matière cohérent détaillé, chaque mesure étant inévitablement entachée d'erreurs (erreurs d'échantillonnage, imprécision de l'analyse granulo-chimique, fonctionnement cyclique d'un appareil,...).

L'Option 11 d'**USIM PAC** permet d'établir un bilan matière complet du flowsheet défini par l'option 1, ceci à l'aide d'un algorithme mathématique avancé. Le simulateur calcule "les meilleurs estimateurs" des débits solides liquides, des fractions pondérales des classes granulométiques et des teneurs des minéraux par classes, pour chaque flux. Le calcul des estimateurs s'est réalisé en tenant compte des trois concepts :

- ces estimateurs sont aussi proches que possible des valeurs mesurées,
- le "dégré de confiance", formalisé par un coefficient de pondération attribué à chaque mesure est pris en compte,
- le calcul doit satisfaire les équations de conservation de la matière (cohérence du bilan) pour chaque composant (débit eau, type de particule, classe granulométrique...).

Du fait de la grande quantité de calculs que l'établissement d'un bilan cohérent demande et de la capacité limitée de la mémoire vive d'un micro-ordinateur, **l'option 11 est limitée au traitement d'un flowsheet comprenant au maximum 16 appareils et 32 flux.** Ce calcul ne prend en compte ni les débits de réactifs, ni les débits de paramètres de flottation. Si le problème est plus complexe, on doit le résoudre en découpant le flowsheet en plusieurs parties que l'on traite séparément.

Nous avons vu précédemment les limitations induites par l'échantillonnage. La méthode utilisée, quant à elle, ne prend pas en compte simultanément la totalité de l'information à cause de la capacité limitée de la mémoire vive d'un micro-ordinateur. Bien que l'algorithme soit optimisé afin d'accélérer les calculs, ceux-ci peuvent s'avérer longs (jusqu'à 3 h sur un PC/AT) selon le nombre de minéraux, de classes granulométriques et la complexité du flowsheet.

II.11.2 - MISE EN OEUVRE DE L'OPTION

Entrée des données

La sélection de l'option 11 du menu principal déclenche l'affichage de l'écran reproduit figure II-22.

```
USIM PAC        ETABLISSEMENT D'UN BILAN MATIERE COHERENT        logiciel BRGM

   FICHIER DES VALEURS EXPERIMENTALES      FICHIER DES VALEURS COHERENTES
    (Fichier initialisation contenant     (Fichier initialisation contenant
             les valeurs mesurées)                 les valeurs estimées)
                 DCOM                                    DCOH


                 FLOWSHEET                     MODELE DE MINERAI

                 DCAL                                    DEXP

            FICHIER A LIRE                     FICHIER A CREER
      (contenant les types,noms et numéros des constituants principaux
      et les classes de précision associées aux valeurs expérimentales)
                 DEXP                                    DEXP

                                                      <ESC> pour continuer
```

Figure II-22 : OPTION 11 - Premier écran

Vous devez indiquer :

- le nom du fichier "initialisation" contenant les valeurs expérimentales mesurées. Ce fichier doit contenir les descriptions complètes de tous les flux du circuit.

Remarque :

La meilleure solution est bien entendu d'échantillonner tous les flux et de les entrer par l'option 5. Si cette solution est applicable sur une usine pilote, elle est le plus souvent impossible dans une installation industrielle en fonctionnement. On procédera alors de la façon suivante : on effectue tous les échantillonnages possibles et on entre ces données par l'option 5. On effectue ensuite une simulation avec des modèles de niveau 0 (modèles de performances non dimensionnels) ou de niveau 1 (modèles dimensionnels les plus simples), ce qui permet de faire une estimation grossière des flux inconnus. On fusionne (grâce à l'option 7) les deux fichiers "initialisation" pour obtenir un fichier "initialisation" complet, le fichier "initialisation" de départ étant le fichier principal et le fichier CONV.INI créé par la simulation étant le fichier secondaire (cf. option 7). On obtient ainsi un fichier "initialisation" complet contenant la description de tous les flux du circuit.

- le nom du fichier "initialisation" que l'option 11 crée et qui contiendra, si l'algorithme converge, les valeurs cohérentes des débits solides et liquides, des fractions pondérales des classes granulométriques et des teneurs des minéraux par classe pour tous les flux du flowsheet,

- le nom du fichier "rhéogramme" contenant le flowsheet considéré généré par l'option 1,

- le nom du fichier modèle de minerai généré par l'option 3,

- le nom (facultatif) du fichier à lire, contenant les constituants principaux et les précisions sur les débits solides et liquides, les fractions pondérales des tranches granulométriques et les teneurs des minéraux,

- le nom du fichier à créer, contenant les constituants principaux et les précisions.

Pour la création d'un fichier contenant les constituants principaux et les précisions entièrement nouveau, il suffit de ne pas indiquer le nom du fichier lu, mais seulement le nom du fichier à créer.

Le second écran vous permet de choisir le type de constituants principaux, minéraux ou classes granulométriques, que vous désirez utiliser lors du bilan destiné à rendre cohérents les débits solides, leur nombre (2 au maximum) et leurs numéros.

```
USIM PAC        ETABLISSEMENT D'UN BILAN MATIERE COHERENT        logiciel BRGM

    Classes granulométriques pouvant être utilisées
    comme constituants principaux :
        1 15000  4  4000  7   315 10    40 13       16       19
        2 10000  5   850  8   175 11       14       17       20
        3  5000  6   500  9    80 12       15       18       21

    Types de particule pouvant être utilisés comme constituants principaux :
                         1 CHAL   2 GANG   3        4

    Type des constituants principaux utilisés ?
            .classes granulométriques  (1)
            .types de particule        (2)     2

    Nombre de constituants principaux choisi ?  2

    Numéros des constituants principaux ?        1  2

                                                      <ESC> pour continuer
```

Figure II-23 : Option 11 - Second écran.

Remarques :

Vous pouvez choisir de faire votre bilan cohérent sur les débits solides sans constituant principal. Le calcul sera alors extrêmement rapide pour cette partie. Cependant, aucune information donnée par les analyses granulo-chimiques ne sera prise en compte et comme les erreurs de mesure sur les débits sont souvent importantes, cela rendra les valeurs obtenues sujettes à caution.

Si vous possédez des informations, même peu précises, sur des pourcentages pondéraux de tranches granulométriques ou des teneurs des minéraux sur l'essentiel des flux, il est conseillé de les prendre en compte ici pour améliorer notablement la qualité des estimateurs.

Le troisième écran vous permet de donner les précisions sur les mesures expérimentales. Elles représentent le "degré de confiance" attribué à une mesure. Pour une mesure a donnée "**à x % près**", on admet, en l'absence d'une étude systématique de la variance expérimentale, que l'erreur de mesure est une variable aléatoire de moyenne nulle et d'écart type σ = **xa/100**. Le coefficient de pondération attribué à **a** est **W** = $1/\sigma^2$. On propose cinq classes de précision **x** de 0 % (valeur figée), 5 % (valeur très bien connue), 20 % (valeur bien connue), 100 % (ordre de grandeur connu), 900 % (valeur inconnue).

Dans le cas où vous n'avez pas pu effectuer toutes les mesures demandées et fait une fusion de fichier (option 7) après une simulation avec des modèles de niveaux 0 ou 1, vous devez donner une précision de 100 % (classe 4) ou de 900 % (classe 5) à toutes les valeurs non mesurées alors que les valeurs effectivement mesurées aux points échantillonnés seront affectées de précisions meilleures.

USIM PAC ETABLISSEMENT D'UN BILAN MATIERE COHERENT logiciel BRGM

Choix de la classe de précision pour chaque flux et chaque valeur mesurée
0%: 1 5%: 2 20%: 3 100%: 4 900%: 5

Flux	Débit solide	Débit liquide	Distr. granul.	CHAL	GANG
1	3	3	3	3	3
2	4	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4
5	4	4	4	4	4
6	3	3	3	3	3
7	3	3	3	3	3
8	4	4	4	4	4
9	3	3	3	3	3
10	4	4	4	4	4
11	3	3	3	3	3
12	3	3	3	3	3
13	4	4	4	4	4
14	4	4	4	4	4
15	3	3	3	3	3
16	4	4	4	4	4

<ESC> pour continuer

Figure II-24 : Option 11 - Troisième écran

II.11.3 - CALCUL DU BILAN COHERENT

L'algorithme d'établissement d'un bilan matière d'**USIM PAC** n'est pas décrit en détail ici.

Le calcul rend d'abord cohérents les débits solides. Il prend en compte les constituants principaux que vous avez choisis avec le second écran. Ce calcul peut être assez long (jusqu'à 30 mn sur un PC/AT).

Un second bilan cohérent s'effectue sur les débits liquides. Celui-ci est très rapide.

Les bilans cohérents suivants ont pour but d'équilibrer, minéral par minéral, les teneurs moyennes par flux des minéraux en fixant les débits solides aux valeurs déjà équilibrées (la précision qui leur est affectée est de 0 %). On effectue autant de bilans cohérents qu'il y a de types de particules décrits dans le modèle de minerai (option 3). Chacun de ces bilans s'effectue assez rapidement (4 "itérations" en général).

On multiplie les teneurs cohérentes des types de particules par flux que l'on vient de calculer par les débits solides cohérents, ce qui nous donne des débits partiels cohérents par types de particules. On calcule d'autre part, à partir du fichier "initialisation", les fractions pondérales des classes granulométriques par minéral.

Avec ces valeurs, on effectue NP (nombre de types de particules) * NCG (nombre de classes granulométriques) bilans matière en fixant les débits partiels cohérents (la précision qui leur est affectée est de 0 %). Chaque bilan matière s'effectue rapidement (4 "itérations" en général) mais leur nombre élevé (NP x NCG avec NP $\leq$ 4 et NCG $\leq$ 21) entraîne un temps de calcul long pour cette partie (jusqu'à 2 h sur PC/AT).

Avec les résultats de tous les bilans cohérents effectués, on reconstitue un fichier "initialisation" contenant les valeurs cohérentes des débits, solides et liquides, des pourcentages pondéraux des classes granulométriques et des teneurs des minéraux par classe pour tous les flux du flowsheet.

II.11.4 - RESULTATS

Lorsque l'algorithme converge, c'est-à-dire lorsque tous les bilans cohérents effectués convergent, un fichier "initialisation" est créé. Son nom est celui que vous avez spécifié sur le premier écran de l'option 11. Toutes les valeurs contenues dans ce fichier sont cohérentes et pourront permettre de calibrer efficacement les modèles des opérations unitaires retenus pour la simulation (option 12), de déterminer des propriétés physiques (option 13) ou de dimensionner des appareils (option 15).

On peut visualiser le fichier "initialisation", contenant les valeurs cohérentes calculées, par l'option 5.

II.12 - OPTION 12 : AJUSTEMENT D'UN MODELE AUX DONNEES EXPERIMENTALES

II.12.1 - INTRODUCTION

Les modèles correspondant aux différents appareils du circuit ayant été choisis lors de l'option 4, il est nécessaire, avant d'effectuer des simulations, de permettre à chaque modèle de décrire le fonctionnement de l'appareil qu'il représente avec le maximum de précision.

En effet, pour aucun appareil en minéralurgie, il n'existe de modèle universel précis. Les modèles les plus performants se basent sur des formulations mathématiques faisant intervenir des paramètres qui doivent être ajustés à partir de données expérimentales.

L'option 12 a pour objet de permettre de déterminer, pour un appareil sélectionné par l'utilisateur et pour un ou plusieurs de ses paramètres d'ajustement, les valeurs donnant le minimum d'écart entre le fonctionnement de l'appareil, caractérisé par la description expérimentale de son ou ses flux de sortie, et la prédiction du modèle. Ces valeurs peuvent être sauvegardées dans un fichier "paramètre". Le modèle ainsi calibré pourra alors être réutilisé lors d'autres options (simulation, dimensionnement ...).

II.12.2 - MISE EN OEUVRE DE L'OPTION

Entrée des données

La figure II-25, présente le premier écran de cette option. Les noms des quatre fichiers contenant les informations nécessaires à la détermination des paramètres d'un modèle doivent être spécifiés.

USIM PAC vérifie la compatibilité de ces fichiers entre eux et affiche un message d'avertissement tout en refusant de continuer cette option en cas d'incompatibilité.

Le numéro de l'appareil à calibrer, demandé en bas de l'écran, est celui qui correspond à cet appareil dans le flowheet dont vous avez spécifié le nom.

Le fichier "initialisation" doit obligatoirement contenir la description du ou des flux d'alimentation de l'appareil et celle du flux de sortie (si l'appareil n'a qu'un flux de sortie) ou d'au moins un des flux de sortie (si l'appareil en compte deux). Afin d'assurer le maximum de validité aux calibrages réalisés, il est fortement conseillé, mais ce n'est pas obligatoire, que les bilans matière de ces descriptions soient cohérents.

Pressez les touches <**Esc**> et <**PgDn**> pour passer à l'écran suivant.

L'écran suivant, dont un exemple est présenté figure II-26, affiche le numéro et le nom des paramètres qu'il est possible d'ajuster. Il permet de spécifier le nombre de paramètres que l'on souhaite ajuster (2 au maximum). La sélection d'un paramètre s'effectue en indiquant son numéro en réponse à la question "numéro du 1er ou 2ème paramètre".

```
USIM PAC    AJUSTEMENT D'UN MODELE AUX DONNEES EXPERIMENTALES  logiciel BRGM

                 FICHIER FLOWSHEET    DCAL

          FICHIER MODELE DE MINERAI    DEXP

             FICHIER INITIALISATION    DCAL

                 FICHIER APPAREILS    DEXP

      Numéro de l'appareil à calibrer      2

                                                    <ESC> pour continuer
```

Figure II-25 : Option 12 - Premier écran

```
USIM PAC    AJUSTEMENT D'UN MODELE AUX DONNEES EXPERIMENTALES  logiciel BRGM

APPAREIL  2                BROYEUR NIVEAU 1
Paramètres ajustables:
    1  Ajustement de la puissance consommée
    2  Ajustement de la pente de Rosin-Rammler en sortie broyeur

        Combien de paramètres voulez-vous ajuster ?    1

        Numéro du 1er paramètre   1
                                                    <ESC> pour continuer
```

Figure II-26 : Option 12 - Second écran

Remarque :

Pour certains modèles, comme par exemple le modèle de broyeur à boulets de niveau 2, des paramètres cachés sont liés à chacun des minéraux de la description minéralogique. Dans ce cas, il n'est possible d'ajuster simultanément 2 paramètres que s'ils relèvent du même minéral. Si les 2 paramètres que l'on souhaite ajuster sont liés à 2 minéraux différents, ils doivent être calibrés successivement, en utilisant deux fois l'option 12.

L'écran suivant présente, pour le ou les paramètres sélectionnés :

- la valeur attribuée à ce paramètre dans le fichier appareil dont le nom a été spécifié au 1er écran de cette option,
- des valeurs par défaut des bornes inférieure et supérieure de l'intervalle dans lequel va être effectuée la recherche. Ces valeurs par défaut sont fournies à titre indicatif et peuvent être changées par l'utilisateur,
- le nombre d'itérations, pris à 50 par défaut, que l'utilisateur souhaite voir effectuer pour le calibrage du paramètre,
- l'incrément avec lequel va être effectuée la recherche. La valeur de cet incrément est calculée par le logiciel en fonction des valeurs de la borne inférieure, de la borne supérieure et du nombre d'itérations, et s'affiche quand le curseur passe sur ce champ.

Le logiciel va, au cours de la phase de calcul de cette option, faire parcourir à la valeur du paramètre tout l'intervalle de recherche, en partant de la borne inférieure et en l'incrémentant, à chaque itération, de la valeur de l'incrément affiché à l'écran. A chaque itération s'effectue une comparaison entre les valeurs expérimentales des descriptions des flux de sortie et celles prédites par le modèle. Cette comparaison se traduit par la valeur de ce qui est appelé la fonction réponse :

- **lorsque la fonction réponse prend la valeur 0**, l'ajustement entre les valeurs expérimentales et celles prédites par le modèle est parfait ;
- **lorsque la fonction réponse prend la valeur 1**, l'ajustement est extrêmement mauvais.

La comparaison entre valeurs expérimentales et valeurs prédites peut s'effectuer sur les écarts "absolus" entre les valeurs des contenus de chaque classe granulométrique dans les flux de sortie, (option proposée par défaut au bas de l'écran) ou sur les écarts "relatifs" entre ces valeurs.

Remarque :

La fonction réponse se basant sur les écarts "relatifs" permet parfois un ajustement plus homogène sur l'ensemble des classes granulométriques que celle se basant sur les écarts "absolus", qui favorise l'ajustement sur les classes où se répartit une quantité importante du minerai aux dépends des autres classes. Cependant, lorsque de nombreuses classes granulométriques ne contiennent que peu de minerai, ce qui est le cas par exemple après une classification granulométrique, la trop grande importance accordée à ces classes quasiment vides lorsque l'on utilise les écarts "relatifs" nuit à la qualité de l'ajustement.

Calcul

Lorsque l'on a quitté l'écran présenté figure II-26 et après un délai nécessaire à la lecture par l'ordinateur du contenu des fichiers, le calcul commence et le nombre d'itérations effectuées s'affiche à l'écran.

Lorsque 2 paramètres sont calibrés simultanément, les itérations affichées à l'écran ne concernent que le premier paramètre et, à chacune d'elles, correspond un balayage complet de l'intervalle de recherche pour le 2eme paramètre.

Si le nombre d'itérations spécifié précédemment lors de la partie acquisition conduit à un temps de calcul prohibitif, il est possible d'interrompre le calcul en cours en appuyant simultanément sur les touches <**Control**> et <**C**>. Les résultats du calcul en cours sont alors perdus.

Résultats

Une fois les calculs terminés, l'écran présenté figure II-27 s'affiche.

Il rappelle, pour chacun des paramètres calibrés :

- la valeur du paramètre dans le fichier "paramètre",
- les valeurs spécifiées pour les bornes inférieure, supérieure et le nombre d'itérations.

Il indique la valeur calculée donnant le meilleur ajustement rencontré lors du balayage ainsi que la valeur correspondante de la fonction réponse.

```
USIM PAC    AJUSTEMENT D'UN MODELE AUX DONNEES EXPERIMENTALES  logiciel BRGM
APPAREIL  2                 BROYEUR NIVEAU 1
      Ajustement de la puissance consommée

 Valeur      Borne inférieure    Borne supérieure     Valeur          Nombre
 initiale                                            calculée    d'itérations
   1.00000        0.50000             1.50000          0.81000         101

        Valeur minimale de la fonction réponse :   0.00000
       ( 0:bonne qualité d'ajustement , 1:mauvaise qualité )
        Voulez-vous sauvegarder ces nouvelles valeurs
                                 des paramètres (O/N) ?  O

                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-27 : Option 12 - Troisième écran

Une réponse non (N) à la question "Voulez-vous sauvegarder ces nouvelles valeurs des paramètres" permet, lorsque l'on passe à l'écran suivant, de revenir au menu "Traitement des données".

Si la réponse est oui (O), l'écran présenté figure II-28 s'affiche. Il permet de spécifier le nom du fichier "paramètre" qui contiendra :

- l'ensemble des informations contenues dans le fichier "paramètre" dont le nom a été spécifié au 1er écran de cette option,
- les nouvelles valeurs du ou des deux paramètres calibrés, écrites à la place des anciennes valeurs.

```
USIM PAC    AJUSTEMENT D'UN MODELE AUX DONNEES EXPERIMENTALES  logiciel BRGM

                    NOM DU FICHIER DE SAUVEGARDE

                              DCAL

                                                  <ESC> pour continuer
```

Figure II-28 : Option 12 - Quatrième écran

Le nom spécifié peut être :

* soit celui d'un fichier "paramètre" déjà existant, auquel cas le nouveau fichier viendra écraser l'ancien,
* soit un nom de fichier à créer.

Le passage à l'écran suivant ramène au menu "Traitement des données" .

II.13 - OPTION 13 : DETERMINATION D'UNE PROPRIETE PHYSIQUE

II.13.1 - INTRODUCTION

Certains modèles d'**USIM PAC** font intervenir des propriétés physiques du minerai comme, par exemple, le Work Index, qui caractérise la broyabilité du minerai et est utilisé par les modèles de broyeur de niveau 1. Ces propriétés physiques font partie de la description du minerai et sont donc définies lors de l'option 3 "Description du modèle de minerai", pour chaque minéral ou chaque type de particules (cf. § II.3).

Les valeurs de ces propriétés physiques peuvent être :

* soit déterminées avec précision pour chaque type de particules, à partir de procédures expérimentales spécifiques (constantes cinétiques du modèle de flottation de niveau 2 par exemple),

* soit obtenues pour l'ensemble du minerai, comme par exemple le Work Index de Bond dont la valeur, déterminée à partir d'essais en laboratoire, caractérise le comportement global du minerai ; cette valeur globale est ensuite attribuée à chacun des minéraux ou type de particules,

* soit estimées (temps de demi-flottation du modèle de niveau 1, Work Index si la détermination en laboratoire n'a pas été réalisée...).

Dans ces deux derniers cas, l'option 13 permet d'ajuster ou d'affiner les valeurs attribuées aux propriétés physiques à partir de descriptions expérimentales des flux d'alimentation et de sortie d'un appareil, qui caractérisent le comportement du minerai dans celui-ci.

II.13.2 - UTILISATION PRATIQUE

Entrée des données

La figure II-29 présente le premier écran de cette option. Les noms des quatre fichiers contenant les informations nécessaires à la détermination des valeurs d'une propriété physique doivent être spécifiés.

USIM PAC vérifie la compatibilité de ces fichiers entre eux et affiche un message d'avertissement tout en refusant de continuer cette option en cas d'incompatibilité.

Le numéro de l'appareil sur lequel va s'effectuer l'ajustement, demandé en bas de l'écran, est celui qui correspond à cet appareil dans le flowsheet dont vous avez spécifié le nom.

```
USIM PAC    AJUSTEMENT DES VALEURS DES PROPRIETES PHYSIQUES    logiciel BRGM
=================================================================================

                 FICHIER FLOWSHEET    DCAL

          FICHIER MODELE DE MINERAI    DEXP

             FICHIER INITIALISATION    DCOH

                  FICHIER APPAREILS    DEXP

   Numéro de l'appareil où s'effectuera l'ajustement :      2

                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-29 : Option 13 - Premier écran

Le fichier "initialisation" doit obligatoirement contenir la description du ou des flux d'alimentation de l'appareil et celle d'au moins un flux de sortie. Afin d'assurer le maximum de validité aux valeurs de la propriété physique déterminées par cette option, il est fortement recommandé, mais cela n'est pas obligatoire, que les bilans matière de ces descriptions soient cohérents (voir option 11).

Le numéro de l'appareil sélectionné doit, bien sûr, correspondre à un appareil pour lequel, lors de l'option 4 "Description des caractéristiques des appareils", a été choisi un modèle faisant intervenir au moins une propriété physique. Si cela n'est pas le cas, toute tentative pour passer à l'écran suivant a pour seul effet de déclencher l'affichage d'un message d'avertissement. Vous pouvez alors soit changer d'appareil sélectionné, soit abandonner l'option en appuyant sur les touches <**Esc**> puis <**PgUp**>.

Pressez les touches <**Esc**> et <**PgDn**> pour passer à l'écran suivant.

L'écran suivant, dont un exemple est présenté figure II-30, affiche le numéro et le nom des propriétés physiques utilisées par le modèle et sur les valeurs desquelles il est possible d'effectuer un ajustement.

Cet écran permet de sélectionner la propriété physique dont on veut ajuster les valeurs en indiquant son numéro en réponse à la question du bas de l'écran.

```
USIM PAC    AJUSTEMENT DES VALEURS DES PROPRIETES PHYSIQUES    logiciel BRGM

APPAREIL  2                BROYEUR NIVEAU 1

Propriétés physiques utilisées par le modèle :

   1  Work Index (kWh/short ton)




      Numéro de la propriété physique à ajuster :       1

                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-30 : Option 13 - Second écran

Pressez les touches <**Esc**> et <**PgDn**> pour passer à l'écran suivant.

Cet écran (figure II-31) présente, pour la propriété physique sélectionnée et pour chacun des types de particules que comporte le modèle de minerai :

- la valeur attribuée à cette propriété dans le fichier "modèle de minerai" dont le nom a été spécifié au 1er écran de cette option,

- des valeurs par défaut des bornes inférieure et supérieure de l'intervalle dans lequel va être effectuée la recherche,

- le nombre d'itérations que l'utilisateur souhaite voir effectué pour l'ajustement de la valeur, pris à 50 par défaut.
  Les valeurs par défaut des bornes de l'intervalle de recherche et du nombre d'itérations sont fournies à titre indicatif et doivent le plus souvent être modifiées par l'utilisateur afin de les adapter au cas considéré.

- l'incrément avec lequel va être effectuée la recherche. La valeur de cet incrément est calculée par le logiciel en fonction des valeurs de la borne inférieure, de la borne supérieure et du nombre d'itérations. Elle s'affiche lorsque le curseur passe sur le champ correspondant.

USIM PAC AJUSTEMENT DES VALEURS DES PROPRIETES PHYSIQUES logiciel BRGM

Work Index (kWh/short ton)

Type de particule	Valeur	Borne inférieure	Borne supérieure	Nombre d'itérations	Incrément
CHAL	15.0000	5.0000	20.0000	151	0.1000
GANG	15.0000	5.0000	20.0000	151	0.1000

<ESC> pour continuer

Figure II-31 : Option 13 - Troisième écran

Après avoir quitté cet écran, et après un délai nécessaire à l'ordinateur pour la lecture du contenu des fichiers, la phase de calcul commence.

Le numéro du type de particules pour lequel le logiciel est en train d'ajuster la valeur de la propriété physique s'affiche à l'écran.

Calcul

Si le nombre d'itérations spécifié précédemment lors de la partie acquisition conduit à un temps de calcul prohibitif, il est possible d'interrompre le calcul en cours en appuyant simultanément sur les touches **<Control>** et **<C>**. Les résultats du calcul en cours sont alors perdus.

Le logiciel, au cours de cette phase de calcul, fait parcourir à la valeur de la propriété physique pour le type de particules considéré, tout l'intervalle de recherche, en partant de la borne inférieure et en lui ajoutant, à chaque itération, l'incrément affiché à l'écran. A chaque itération s'effectue une comparaison entre les valeurs expérimentales des descriptions des flux de sortie de l'appareil et celles prédites par le modèle. Cette comparaison se traduit par la valeur de ce qui est appelé la fonction réponse :

- **lorsque la fonction réponse prend la valeur 0**, l'ajustement entre les valeurs expérimentales et celles prédites par le modèle est parfait,

- **lorsque la fonction réponse prend la valeur 1**, l'ajustement est extrêmement mauvais.

Résultats

Une fois les calculs terminés, l'écran présenté figure II-32 s'affiche. Il rappelle, pour la propriété physique sélectionnée et pour chacun des types de particules :

- la valeur attribuée à cette propriété dans le fichier "modèle de minerai",

- les valeurs spécifiées pour les bornes inférieure, supérieure et pour le nombre d'itérations.

Cet écran indique, pour chaque type de particules, la valeur calculée de la propriété physique donnant le meilleur ajustement rencontré lors du balayage, ainsi que la valeur correspondante de la fonction réponse.

USIM PAC AJUSTEMENT DES VALEURS DES PROPRIETES PHYSIQUES logiciel BRGM

APPAREIL 2 BROYEUR NIVEAU 1
Propriété : Work Index (kWh/short ton)

Nom part.	Valeur initiale	Borne inférieure	Borne supérieure	Valeur calculée	Fonction réponse	Nombre iter.
CHAL	15.0000	5.0000	20.0000	10.8000	0.00290	151
GANG	15.0000	5.0000	20.0000	12.2000	0.00410	151

Voulez-vous sauvegarder ces nouvelles valeurs
des paramètres (O/N) ? O

<ESC> pour continuer

Figure II-32 : Option 13 - Quatrième écran

Une réponse non (N) à la question "Voulez-vous sauvegarder ces nouvelles valeurs", permet, lorsque l'on passe à l'écran suivant, de revenir au menu "Traitement des données".

Si la réponse est oui (O), l'écran présenté figure II-33 s'affiche.

Il permet de spécifier le nom du fichier "modèle de minerai" qui contiendra :

- l'ensemble des informations contenues dans le fichier "modèle de minerai" dont le nom a été spécifié au 1er écran de cette option,
- les nouvelles valeurs correspondant à la propriété physique sélectionnée, écrites à la place des anciennes.

```
USIM PAC    AJUSTEMENT DES VALEURS DES PROPRIETES PHYSIQUES    logiciel BRGM
=============================================================================

                        NOM DU FICHIER DE SAUVEGARDE

                                    DCAL

                                                        <ESC> pour continuer
```

Figure II-33 : Option 13 - Cinquième écran

Le nom spécifié peut être :

. soit celui d'un fichier déjà existant, auquel cas le nouveau fichier viendra écraser l'ancien,

. soit un nom de fichier à créer.

Le passage à l'écran suivant ramène au menu "Traitement des données" .

II.14 - OPTION 14 : SIMULATION D'UN ATELIER COMPLET

La section de cette option du menu principal déclenche l'affichage de l'écran reproduit figure II-34. Vous devez indiquer deux types d'informations :

- les noms des quatre fichiers contenant les données descriptives de la situation que vous voulez simuler. **USIM PAC** vérifie la compatibilité de vos données et refuse de prendre en considération des fichiers incompatibles,
- des grandeurs liées à l'algorithme itératif :
  - . le nombre maximal d'itérations (valeur par défaut : 50, minimale : 3, maximale : 100),
  - . le critère de convergence (valeur par défaut : 0,001, minimale : 0,0001, maximale : 1).

```
USIM PAC                          CALCUL                          logiciel BRGM

                FICHIER FLOWSHEET     DCAL

        FICHIER MODELE DE MINERAI     DEXP

           FICHIER INITIALISATION     DCOH

                FICHIER APPAREILS     DEXP

             CRITERE DE CONVERGENCE (%)   0.10

            NOMBRE D'ITERATIONS MAXIMUM   50
                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-34 : Simulation d'un atelier

Si le calcul de l'option 14 n'a pas convergé au bout du nombre maximum d'itérations que vous avez choisi, le calcul s'arrête et les valeurs numériques à ce stade du calcul sont sauvegardées dans le fichier **CONV.INI** que vous pourrez réutiliser comme fichier "initialisation" si vous décidez de prolonger le calcul.

Dans le cas de convergence lente, vous pouvez essayer :

* d'initialiser certains flux des boucles de recyclage de votre flowsheet (option 5),
* de diminuer la rigueur du contrôle déterminant l'arrêt ou la poursuite de l'algorithme itératif, en augmentant la valeur du critère de convergence,
* de vérifier qu'il peut bien y avoir convergence pour la situation simulée. La consultation du fichier **CONV.INI** au moyen de l'option 5 vous permet de contrôler, notamment au niveau des flux recyclés, si le circuit tend ou non vers une stabilisation.

Remarque :

Le calcul s'effectue à chaque itération appareil par appareil, dans l'ordre dans lequel les appareils ont été numérotés dans le flowsheet. Il est donc important que les appareils soient dans un ordre proche de celui selon lequel les appareils se rempliraient de minerai à la mise en service de l'atelier réel. A défaut, le nombre d'itérations nécessaire pour obtenir la convergence risque d'être augmenté. L'option 2 (renumérotation du flowsheet) permet de placer les numéros des appareils dans l'ordre convenable.

Lorsque le calcul converge, plusieurs fichiers sont constitués :

- un fichier appelé **FICHIER.RES**, qui contient les descriptions simulées de tous les flux du circuit. Les informations contenues dans ce fichier peuvent être visualisées par les options 17 (présentation globale) ou 18 (présentation détaillée par flux) ou intégrées dans un dossier créé au cours de l'utilisation de l'option 20 (création d'un dossier complet) ;

- un fichier appelé **FICHIER.FON**, contenant des informations, en fonction des modèles utilisés lors de la simulation, sur le fonctionnement des appareils lorsque le circuit est à l'équilibre (chute de pression dans les hydrocyclones, par exemple). Ces informations peuvent être visualisées par l'option 19 ou être intégrées dans un dossier constitué lors de l'utilisation de l'option 20 (création d'un dossier complet) ;

- un fichier appelé **CONV.INI**, qui contient les descriptions simulées de tous les flux du circuit et qui a la structure d'un fichier "initialisation". Il peut donc être utilisé dans les nombreuses options utilisant un fichier "initialisation". En particulier, utilisé au cours des options 21 (tracé de courbes granulométriques) ou 22 (tracé de courbes de partage), il permet de visualiser les résultats de la simulation.

II.15 - OPTION 15 : DIMENSIONNEMENT D'UN APPAREIL

II.15.1 - INTRODUCTION

Cette option a pour objet de permettre de dimensionner un appareil, en déterminant la valeur d'un ou plusieurs paramètres dimensionnels du modèle qui le représente.

Elle ne peut donc intervenir que lorsque ce dernier est de niveau 1, 2 ou 3, car les modèles de niveau 0 ne font pas intervenir de paramètre dimensionnel.

La qualité du dimensionnement de l'appareil dépend de la précision avec laquelle le modèle reproduit le fonctionnement de celui-ci. Afin que cette précision soit la plus grande possible, il est très souhaitable que le modèle ait tout d'abord été ajusté à partir de données expérimentales, grâce à l'option 12 et éventuellement l'option 13.

II.15.2 - MISE EN OEUVRE DE L'OPTION

La figure II-35 présente le premier écran de cette option. Les noms des quatre fichiers contenant les informations nécessaires au dimensionnement doivent être spécifiés.

```
USIM PAC              DIMENSIONNEMENT D'UN APPAREIL              logiciel BRGM
=============================================================================

                 FICHIER FLOWSHEET    DCAL

          FICHIER MODELE DE MINERAI   DCAL

             FICHIER INITIALISATION   DOPT1

                 FICHIER APPAREILS    DCAL

  Numéro de l'appareil à dimensionner      2

                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-35 : Option 15 - Premier écran

USIM PAC vérifie la compatibilité de ces fichiers entre eux et affiche un message d'avertissement tout en refusant de continuer cette option en cas d'incompatibilité.

Le numéro de l'appareil à dimensionner, demandé en bas de l'écran, est celui qui correspond à cet appareil dans le flowsheet dont vous avez spécifié le nom.

Le fichier "initialisation" doit obligatoirement contenir la description du ou des flux d'alimentation de l'appareil et celle d'au moins un flux de sortie. Afin d'assurer le maximum de validité aux dimensionnements réalisés, il est fortement conseillé, mais ce n'est pas obligatoire, que les bilans matière de ces descriptions soient cohérents.

L'écran suivant, dont un exemple est présenté figure II-36 affiche le numéro et le nom des paramètres qu'il est possible d'ajuster. Il permet de spécifier le nombre de paramètres dimensionnels que l'on souhaite ajuster (2 au maximum). La sélection d'un paramètre s'effectue en indiquant son numéro en réponse à la question "numéro du 1er ou 2ème paramètre".

```
USIM PAC              DIMENSIONNEMENT D'UN APPAREIL              logiciel BRGM

APPAREIL  2                 BROYEUR NIVEAU 1
Paramètres ajustables:
    1  Nombre de broyeurs en parallèle
    2  Diamètre interne du broyeur (m)
    3  Rapport longueur/diamètre
    4  Coefficient de remplissage des boulets (%)
    5  Fraction de la vitesse critique





        Combien de paramètres voulez-vous ajuster ?    1

        Numéro du 1er paramètre   4
                                                      <ESC> pour continuer
```

Figure II-36 : Option 15 - Second écran

L'écran suivant (figure II-37) présente, pour le ou les paramètres sélectionnés :

- la valeur attribuée à ce paramètre dans le fichier "paramètre" dont le nom a été spécifié au 1er écran de cette option ;

- des valeurs par défaut des bornes inférieure et supérieure de l'intervalle dans lequel va être effectuée la recherche ;

- le nombre d'itérations, pris à 50 par défaut, que l'utilisateur souhaite voir effectuer pour le calibrage du paramètre dimensionnel. Les valeurs par défaut des bornes de l'intervalle de recherche et du nombre d'itérations sont fournies à titre indicatif et doivent le plus souvent être modifiées par l'utilisateur afin qu'elles soient adaptées au cas considérés ;

- l'incrément avec lequel va être effectué la recherche. La valeur de cet incrément est calculée par le logiciel en fonction des valeurs de la borne inférieure, de la borne supérieure et du nombre d'itérations, et s'affiche quand le curseur passe sur ce champ.

```
USIM PAC              DIMENSIONNEMENT D'UN APPAREIL              logiciel BRGM

      Coefficient de remplissage des boulets (%)

   Valeur            Borne          Borne          Nombre          Incrément
                   inférieure     supérieure    d'itérations
   24.00000          24.00000       45.00000          22            1.00000




      La fonction réponse doit être calculée sur :

      .les erreurs relatives par tranche granulométrique (1)
      .les erreurs absolues par tranche granulométrique  (2)    2

                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-37 : Option 15 - Troisième écran.

Le logiciel va, au cours de la phase de calcul de cette option, faire parcourir à la valeur du paramètre tout l'intervalle de recherche, en partant de la borne inférieure et en l'incrémentant, à chaque itération, de la valeur de l'incrément affiché à l'écran. A chaque itération s'effectue une comparaison entre les valeurs expérimentales des descriptions des flux de sortie et celles prédités par le modèle. Cette comparaison se traduit par la valeur de ce qui est appelé la fonction réponse :

- **lorsque la fonction réponse prend la valeur 0**, l'ajustement entre les valeurs expérimentales et celles prédites par le modèle est parfait ;
- **lorsque la fonction réponse prend la valeur 1**, l'ajustement est extrêmement mauvais.

La comparaison entre valeurs expérimentales et valeurs prédites peu s'effectuer sur les écarts "absolus" entre les valeurs des contenus de chaque classe granulométrique dans les flux de sortie, (option proposée par défaut au bas de l'écran) ou sur les écarts "relatifs" entre ces valeurs.

Remarque :

La fonction réponse se basant sur les écarts "relatifs" permet parfois un ajustement plus homogène sur l'ensemble des classes granulométriques que celle se basant sur les écarts "absolus", qui favorise l'ajustement sur les classes où se répartit une quantité importante du minerai aux dépends des autres classes. Cependant, lorsque de nombreuses classes granulométriques ne contiennent que peu de minerai, ce qui est le cas par exemple après une classification granulométrique, la trop grande importance accordée à ces classes quasiment vides lorsque l'on utilise les écarts "relatifs" nuit à la qualité de l'ajustement.

Après avoir quitté cet écran et après un délai nécessaire à la lecture par l'ordinateur du contenu des fichiers, le calcul commence et le nombre d'itérations effectuées s'affiche à l'écran.

Lorsque 2 paramètres sont calibrés simultanément, les itérations affichées à l'écran ne concernent que le premier paramètre et, à chacune d'elles, correspond un balayage complet de l'intervalle de recherche pour le 2ème paramètre.

Si le nombre d'itérations spécifié précédement lors de la partie acquisition conduit à un temps de calcul prohibitif il est possible d'interrompre le calcul en cours en appuyant simultanément sur les touches <**Control**> et <**C**>. Les résultats du calcul en cours sont alors perdus.

Une fois les calculs terminés, l'écran présenté figure II-38 s'affiche.

Il rappelle, pour chacun des paramètres calibrés :
- la valeur du paramètre dans le fichier "paramètre",
- les valeurs spécifiées pour les bornes inférieure, supérieure et la nombre d'itérations.

Il indique la valeur calculée donnant le meilleur ajustement rencontré lors du balayage ainsi que la valeur correspondante de la fonction réponse.

```
USIM PAC                DIMENSIONNEMENT D'UN APPAREIL                logiciel BRGM
APPAREIL  2                    BROYEUR NIVEAU 1
      Coefficient de remplissage des boulets (%)

 Valeur      Borne inférieure     Borne supérieure      Valeur          Nombre
 initiale                                              calculée     d'itérations
  24.00000       24.00000             45.0000          32.00000          22



        Valeur minimale de la fonction réponse :   0.00398
       ( 0:bonne qualité d'ajustement , 1:mauvaise qualité )
        Voulez-vous sauvegarder ces nouvelles valeurs
                                 des paramètres (O/N) ?  O

                                                        <ESC> pour continuer
```

Figure II-38 : Option 15 - Quatrième écran

Une réponse non (N) à la question "Voulez-vous sauvegarder ces nouvelles valeurs des paramètres" permet, lorsque l'on passe à l'écran suivant, de revenir au menu "Traitement des données".

Si la réponse est oui (O), l'écran présenté figure II-39 s'affiche. Il permet de spécifier le nom du fichier "paramètre" qui contiendra :

- l'ensemble des informations contenues dans le fichier "paramètre" dont le nom a été spécifié au 1er écran de cette option,

- les nouvelles valeurs du ou des deux paramètres dimensionnels calibrés, écrites à la place des anciennes valeurs.
  Le nom spécifié peut être :

  . soit celui d'un fichier "paramètre" déjà existant, auquel cas le nouveau fichier viendra écraser l'ancien,
  . soit un nom de fichier à créer.

Le passage à l'écran suivant ramène au menu "Traitement des données".

```
USIM PAC              DIMENSIONNEMENT D'UN APPAREIL              logiciel BRGM
═══════════════════════════════════════════════════════════════════════════════

                        NOM DU FICHIER DE SAUVEGARDE

                                   DOPT1


                                                        <ESC> pour continuer
```

Figure II-39 : Option 15 - Cinquième écran

II.16 - OPTION 16 - CALCUL DES COUTS D'INVESTISSEMENT

II.16.1 - INTRODUCTION

Pour réaliser une estimation du coût d'investissement d'une installation, il est nécessaire d'avoir **auparavant** effectué une **simulation avec des modèles de niveau égal ou supérieur à 1** ayant donné des résultats satisfaisants. On peut alors lancer l'option d'**USIM PAC** dans le but d'obtenir un ordre de grandeur de l'investissement à réaliser pour l'installation simulée.

II.16.2 - MISE EN OEUVRE DE L'OPTION

Entrée des données

La sélection de l'option 16 d'**USIM PAC** déclenche l'affichage de l'écran reproduit figure II-40. Vous devez indiquer le nom du fichier fonctionnement à partir duquel vous souhaitez effectuer cette estimation.

```
USIM PAC    CALCUL DES COUTS D'INVESTISSEMENT DES APPAREILS    logiciel BRGM

                    NOM DU FICHIER FONCTIONNEMENT

                              DOPT1

                                                    <ESC> pour continuer
```

Figure II-40 : Option 16 - Premier écran

Ce fichier est créé lors de l'exécution de l'option 14 d'**USIM PAC** (simulation) lorsque la convergence est obtenue. Il se nomme **FICHIER.FON** et est réécrit après chaque simulation. Il contient des informations sur les appareils: dimensions et paramètres décrivant leur fonctionnement (chute de pression dans un hydrocyclone par exemple).

L'écran donne **FICHIER** comme nom de fichier fonctionnement par défaut. Il s'agit donc du fichier fonctionnement correspondant à la dernière simulation effectuée. Si vous avez renommé un fichier fonctionnement (option 8 d'**USIM PAC**), vous pouvez le rappeler ici et estimer le coût d'investissement de l'installation correspondante.

Pressez les touches <**Esc**> et <**PgDn**> pour passer à l'écran suivant.

Le second écran, dont un exemple est présenté figure II-41, vous propose un choix d'unités monétaires. Vous pouvez modifier la liste de monnaies proposées en éditant le fichier **COUTS.CNF**. Vous devez spécifier le numéro correspondant à l'unité monétaire de votre choix : les résultats vous seront donnés dans cette unité monétaire.

```
USIM PAC      CALCUL DES COUTS D'INVESTISSEMENT DES APPAREILS  logiciel BRGM
═══════════════════════════════════════════════════════════════════════════════

      En quelle unité voulez-vous vos estimations de coûts ?

                    1 Franc français 90
                    2 Dollar américain 90
                    3 Dollar canadien 90
                    4 Mark allemand 90
                    5 Franc suisse 90
                    6 Livre anglaise 90



                  Votre choix ?  2

                                                  <ESC> pour continuer
```

Figure II-41 : Option 16 - Second écran

Pressez les touches <**Esc**> et <**PgDn**> pour passer à l'écran suivant.

Selon les appareils utilisés dans le flowsheet considéré, d'autres écrans peuvent s'afficher (exemple figure II-42) : ils permettent l'acquisition de données complémentaires nécessaires au calcul de coût de certains appareils (cribles, concasseurs, cellules de flottation, filtres...). Vous devez spécifier les valeurs des paramètres ou conserver les valeurs par défaut, presser les touches <**Esc**> et <**PgDn**> pour passer à l'écran suivant.

```
USIM PAC      CALCUL DES COUTS D'INVESTISSEMENT DES APPAREILS  logiciel BRGM

   Appareil numéro  8:  CELLULES DE FLOTTATION

            Pourcentage de Volume utile (%)                 80.00

                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-42 : Option 16 - Acquisition d'informations complémentaires

Calcul

Cette option permet d'estimer les prix des équipements suivants :

- concasseurs à mâchoires, à cônes, giratoires,
- broyeurs à boulets, à barres, autogènes,
- hydrocyclones,
- cyclones à milieu dense,
- cribles vibrants,
- grilles planes et courbes,
- grizzlies,
- cellules de flottation,

- classificateurs à vis,
- filtres à disque, à bande, à tambour,
- épaississeurs,
- jigs,
- tables à secousses, à fines,
- spirales.

Résultats

Lorsque les calculs sont terminés, l'écran reproduit figure II-43 s'affiche.

Il donne :

- les prix unitaires estimés des appareils du flowsheet,
- les prix des appareils en parallèles,
- le coût d'investissement total de tous les appareils pour lesquels il existe un modèle de prix.

USIM PAC CALCUL DES COUTS D'INVESTISSEMENT DES APPAREILS logiciel BRGM

Numéro d'appareil	Nom de l'appareil	Coût unitaire d'investissement en US$90	Coût total d'investissement en US$90
2	BROYEUR A BOULETS	745964	745964
5	HYDROCYCLONE	3466	10398
8	CELLULES DE FLOTTATION	19215	230589
9	CELLULES DE FLOTTATION	19215	384315
11	CELLULES DE FLOTTATION	9220	147526
12	CELLULES DE FLOTTATION	9220	73763
Coût d'investissement total			1592557

<ESC> pour continuer

Figure II-43 : Option 16 - Troisième écran

Pressez les touches <**Esc**> et <**PgDn**> pour passer à l'écran suivant.

L'écran suivant, (présenté figure II-44) donne une estimation des coûts des différents postes de l'usine à partir du coût d'investissement total des appareils principaux estimé ci-dessus. Des coefficients multiplicateurs (indices) permettent de faire ces estimations. Ils peuvent être modifiés à l'écran ou dans le fichier de configuration **INDICES.CNF** et les calculs qui en découlent sont refaits au fur et à mesure que l'on parcourt l'écran.

USIM PAC CALCUL DES COUTS D'INVESTISSEMENT DES APPAREILS logiciel BRGM

DIFFERENTS POSTES DE L'USINE	RATIO				COUT	US$90
ACHAT APPAREILS PRINCIPAUX	1					1592557
Installation	0.40				637022	
APPAREILS PRINCIPAUX INSTALLES	1.40	1				2229579
Canalisations		0.10			222957	
Instrumentation		0.05			111479	
Développement du site		0.35			780352	
Auxiliaires		0.10			222957	
Lignes extérieures		0.08			178366	
TOTAL DE L'USINE PHYSIQUE		1.68	1			3745693
Ingénierie et construction			0.25		936423	
Contingences			0.10		374569	
Facteur d'échelle			0.05		187284	
COUTS FIXES TOTAUX			1.40	1		5243970
Fonds de roulement				0.15	786595	
INVESTISSEMENT TOTAL				1.15		6030566

<ESC> pour continuer

Figure II-44 : Option 16 - Quatrième écran

II.17 - OPTION 17 : PRESENTATION GLOBALE DES RESULTATS DE LA SIMULATION

Cette option permet de visualiser pour chaque flux de l'usine simulée :

- le débit solide (en t/h),
- le débit liquide (en t/h),
- la teneur et la récupération (par rapport aux flux n°1) de chacun des minéraux constituant le minerai.

La figure II-45 montre un exemple de résultats présentés avec cette option.

Remarques :

Lorsque le flowsheet comporte plus de 9 flux l'affichage des résultats s'effectue en plusieurs écrans. Le passage d'un écran à un autre se fait par la procédure habituelle <Esc> <PgDn> ou <Esc> <PgUp>.

La récupération des constituants dans les flux étant calculée par rapport au contenu du flux numéro 1 vous avez avantage (mais ce n'est pas obligatoire) à ce que ce flux 1 soit l'alimentation totale en minerai de l'usine.

Pour imprimer ces résultats sur votre imprimante faites une copie d'écran, en pressant simultanément les clefs <Shift> et <Print Screen> (ou seulement <Print Screen> sur un clavier étendu).

USIM PAC — RESULTATS — logiciel BRGM

FL. no	DEBIT solide t/h	DEBIT liquide t/h	CHAL TENEUR	CHAL RECUP.	GANG TENEUR	GANG RECUP.	TENEUR	RECUP.	TENEUR	RECUP.
1	59.18	3.08	10.56	100.00	89.45	100.00				
2	167.11	72.88	10.23	273.47	89.78	283.41				
3	167.11	72.88	10.23	273.47	89.78	283.41				
4	167.11	152.41	10.23	273.47	89.78	283.41				
5	167.11	152.41	10.23	273.47	89.78	283.41				
6	107.93	60.00	10.05	173.47	89.95	183.41				
7	59.18	92.41	10.56	100.00	89.45	100.00				
8	59.18	177.53	10.56	100.00	89.45	100.00				
9	104.32	245.15	7.97	133.05	92.03	181.36				

<ESC> pour continuer

Figure II-45 : Présentation globale des résultats d'une simulation

II.18 - OPTION 18 : PRESENTATION DETAILLEE PAR FLUX DES RESULTATS DE LA SIMULATION

Cette option permet de visualiser, pour chaque flux, une description détaillée de sa composition :

- débit solide (t/h),
- débit liquide (t/h),
- distribution granulométrique (en passants cumulés),
- teneur de chaque classe en chacun des constituants minéralogiques. A cela s'ajoute éventuellement, si vous avez utilisé un modèle de minerai comportant des réactifs modélisés, ou des paramètres de flottation, les descriptions des débits de réactifs et des pourcentages de chacun des constituants minéralogiques correspondant aux différents paramètres de flottation.

Le premier écran de cet option, présenté en figure II-46, permet :

- de préciser le numéro du flux dont on souhaite visualiser la description (répondre alors **N** à la question "fin de la visualisation"),
- ou de mettre fin à la consultation des résultats (répondre alors **O** à la question "fin de la visualisation").

L'écran suivant, présenté figure II-47, affiche la description détaillée du flux.

L'affichage éventuel des écrans présentés figures II-48 et II-49, complète cette description.

```
USIM PAC                          RESULTATS                          logiciel BRGM
=================================================================================

                          CHOIX DU FLUX A VISUALISER


                              No DU FLUX     3


                     FIN DE LA VISUALISATION (O/N)  N

                                                        <ESC> pour continuer
```

Figure II-46 : Présentation détaillée des résultats de la simulation. Sélection du flux à visualiser

USIM PAC RESULTATS logiciel BRGM

DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE POUR LE FLUX 3
DEBIT SOLIDE (t/h) 167.110 DEBIT LIQUIDE (t/h) 72.878

MAILLE micron	PASS. %	TENEUR CHAL	TENEUR GANG	MAILLE micron	PASS. %	TENEUR
15000	100.0	9.90	90.10			
10000	100.0	8.78	91.22			
5000	99.9	8.53	91.47			
4000	99.8	8.57	91.43			
850	92.2	8.90	91.10			
500	84.8	9.18	90.82			
315	76.6	9.49	90.51			
175	64.7	9.90	90.10			
80	48.7	10.33	89.67			
40	36.3	11.44	88.56			
		10.23	89.78			

<ESC> pour continuer

Figure II-47 : Description détaillée de la composition d'un flux simulé

USIM PAC RESULTATS logiciel BRGM

DEBITS DE REACTIFS POUR LE FLUX 3

DEBIT SOLIDE (t/h) 173.355 DEBIT LIQUIDE (t/h) 46.558

REACTIFS :	REA1	REA2
DEBITS :	0.124	0.249
REACTIFS :		
DEBITS :		

<ESC> pour continuer

Figure II-48 : Présentation des débits de réactifs

USIM PAC RESULTATS logiciel BRGM

PARAMETRES DE FLOTTATION DANS LE FLUX 3

TYPES DE PARTICULES :	PARAMETRES :			
	Rlim	PHI1	PHI3	PHI4
CHAL	82.46	69.66		
GANG	38.61	88.00		

<ESC> pour continuer

Figure II-49 : Présentation des paramètres de flottation

II.19 - OPTION 19 : VISUALISATION DU FICHIER FONCTIONNEMENT FICHIER.FON

II.19.1 - INTRODUCTION

Cette option permet de visualiser le fichier fonctionnement **FICHIER.FON** à l'écran. Son affichage à l'écran se fait page par page et vous devez appuyer sur une touche quelconque pour passer à la page suivante. Aucun retour en arrière (remontée vers le début du fichier) n'est possible car la visualisation se fait par une commande du système d'exploitation (MS/DOS).

Ce fichier a été généré lors de la dernière simulation et est utilisé pour le calcul des coûts d'investissement.

II.19.2 - DESCRIPTION DU FICHIER : FICHIER.FON

Ce fichier contient :

- une entête décrivant les fichiers de données (.RHE, .SIS, .INI, et .PAR) utilisés lors de la dernière simulation,
- le nombre d'appareils du flowsheet,
- une suite de paragraphes, appareil par appareil, donnant, pour chaque appareil :
  - . son numéro dans le flowsheet,
  - . le libellé de son dessin,
  - . le nom du modèle utilisé pour le simuler, le numéro et le libellé du modèle de prix utlisé dans le calcul de coût d'investissement, le nombre de pramètres utiles au modèle de prix et le nombre de paramètres de fonctionnement,
  - . pour chaque appareil, on lira ensuite les libellés et les valeurs des paramètres utiles au modèle de prix puis ceux des paramètres de fonctionnement, éventuellement d'autres paramètres, inscrits par des modèles qui auraient été transformés ou crées par l'utilisateur.

Remarque :

Toutes ces écritures se font, lorsqu'il y a convergence de la simulation dans les modèles d'opérations unitaires.

II.20 - OPTION 20 : CREATION D'UN DOSSIER COMPLET

II.20.1 - INTRODUCTION

L'option 20 permet d'imprimer un compte rendu complet et facile à lire d'une simulation. Il peut, en fonction des souhaits de l'utilisateur, comprendre les données introduites grâce aux options 3 (modèle de minerai) 4 (caractéristiques des appareils) et 5 (initialisation) ainsi que les résultats que l'on peut visualiser à l'écran par les options 17 (présentation globale) ou 18 (présentation détaillée flux par flux) et le fichier fonctionnement visualisé à l'écran par l'option 19.

La présentation claire de ce dossier évite des copies d'écran fastidieuses et permet de l'inclure directement dans un rapport.

II.20.2 - MISE EN OEUVRE DE L'OPTION

La sélection de l'option 20 du menu "Présentation des résultats", déclenche l'affichage de l'écran reproduit figure II-50.

Vous pouvez donner un titre à votre dossier de simulation. Celui-ci apparaîtra en première page de votre compte rendu.

Vous devez indiquer les informations que vous désirez sélectionner :

- tous les résultats sous forme globale (O/N),

  Un tableau synthétique sera écrit dans le dossier. Il comprendra pour chaque flux :
  . son numéro dans le flowsheet,
  . ses débits, solide et liquide,
  . les teneurs et récupérations par type de particules.

- tous les résultats sous forme détaillée (O/N)
  . si non, résultats détaillés pour certains flux (O/N),
  . si oui flux sélectionnés :

  Les résultats sont présentés flux par flux.

  Pour chaque flux, un paragraphe présente :
  . les débits, solide et liquide,
  . la distribution granulométrique,
  . les teneurs par type de particules.

  Les classes granulométriques vides sont omises.

- la description des flux initialisés (O/N)

- la description du modèle de minerai (O/N)

- la description des paramètres de tous les appareils (O/N)

- la description des paramètres de certains des appareils (O/N) :
  . si oui appareils sélectionnés:

  Pour chaque appareil sélectionné, un paragraphe présente :
  . le numéro de l'appareil dans le flowsheet,
  . le nom du modèle utilisé pour la simulation,
  . les libellés et les valeurs des paramètres visibles,
  . les valeurs des paramètres cachés.

- édition du fichier fonctionnement **FICHIER.FON** (O/N)

```
USIM PAC                CREATION D'UN DOSSIER COMPLET          logiciel BRGM
                          CONFIGURATION DU DOSSIER

  - titre :    DOPT2-RESULTATS D'OPTIMISATION
  - tous les résultats sous forme globale (O/N):                 O
  - tous les résultats sous forme détaillée (O/N):               O
  - résultats détaillés pour certains flux (O/N):
       si OUI, indiquez leurs numéros:



 - description des flux initialisés (O/N):                       O
 - description du modèle de minerai (O/N):                       O
 - description des paramètres de tous les appareils (O/N):       O
 - description des paramètres de certains appareils (O/N):
      si OUI, indiquez leurs numéros:


 - contenu du fichier FICHIER.FON                                O
                                              <ESC> pour continuer
```

Figure II-50 : Option 20 - Création d'un dossier complet

L'option 20 d'**USIM PAC** génère alors le fichier **DOSSIER.PRN** contenant les informations sélectionnées dans les différents fichiers et ordonnées. Ce fichier est paginé.

Vous pouvez ensuite, soit l'imprimer sur votre imprimante en sortant du logiciel par **<F10>** ou par l'option 10 et en tapant

PRINT DOSSIER.PRN

soit le copier sur une disquette (éventuellement après l'avoir renommé par l'option 8) afin de le conserver ou de l'imprimer plus tard sur une imprimante plus rapide ou de meilleure qualité.

Le fichier **DOSSIER.PRN** est un fichier standard ASCII qui peut être repris dans un traitement de texte.

Remarques :

Le programme lit d'abord le fichier de résultats FICHIER.RES dans lequel il lit les noms des fichiers de données utilisés pour la simulation. Le fichier résultats FICHIER.RES ne doit donc pas avoir été renommé. Le fichier fonctionnement FICHIER.FON doit également correspondre à cette simulation. Dans la partie de la description des résultats détaillée flux par flux, de DOSSIER.PRN, les classes granulométriques vides ne sont pas écrites.

II.21 - OPTION 21 : TRACE DE COURBES GRANULOMETRIQUES

Cette option permet d'effectuer le tracé de distributions granulométriques correspondant à un, deux ou trois flux de matière, à partir des informations contenues dans un fichier initialisation (.INI), ou dans le fichier **CONV.INI** qui contient les valeurs numériques issues d'une simulation d'**USIM PAC**.

Les informations à fournir, comme le montre la figure II-51 sont :

- le nom du fichier "initialisation" **.INI**, ou **CONV** (sans extension),
- le nom du fichier "modèle de minerai" (.SIS) compatible (sans extension),
- le ou les numéros des flux pour lesquels on souhaite obtenir le tracé de distribution granulométrique,
- le titre qui apparaîtra sur le tracé,
- le type de distribution granulométrique souhaité (si vous souhaitez le tracé correspondant à 2 ou 3 flux, seul un tracé global sera autorisé),
- le type d'échelle des ordonnées (Rosin-Rammler ou arithmétique),
- le type de tracé (points reliés ou non).

```
USIM PAC                DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE            logiciel BRGM

 Nom du fichier
 initialisation à lire CONV       Nom du fichier modèle de minerai DCAL

 Numéro du 1er flux  1   Numéro du 2ème flux  3   Numéro du 3ème flux  7

        Titre  DCAL-SIMULATION CALIBREE DE L'USINE

        Distribution granulométrique (passants cumulés):
                 globale                          (1)
                 pour chaque type de particule    (2)
                 globale et par type de particule (3)    1

        Echelle des ordonnées: type Rosin-Rammler (1)
                               type arithmétique  (2)
                               type logarithmique (3)    1

        Tracé:     points seulement                (1)
                   points reliés par des segments (2)    2
                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-51 : Ecran d'acquisition pour le tracé de courbes granulométriques

Après acquisition des informations, la sortie de la page-écran provoque le tracé à l'écran des distributions granulométriques correspondantes.

Un message affiché en haut de l'écran vous demande de : taper **<R>** et **<Return>** pour revenir au menu principal, ou taper **<I>** et **<Return>** pour provoquer l'impression.

Lorsque l'impression est terminée, (figure II-52) appuyer sur **<Return>** pour revenir au menu principal.

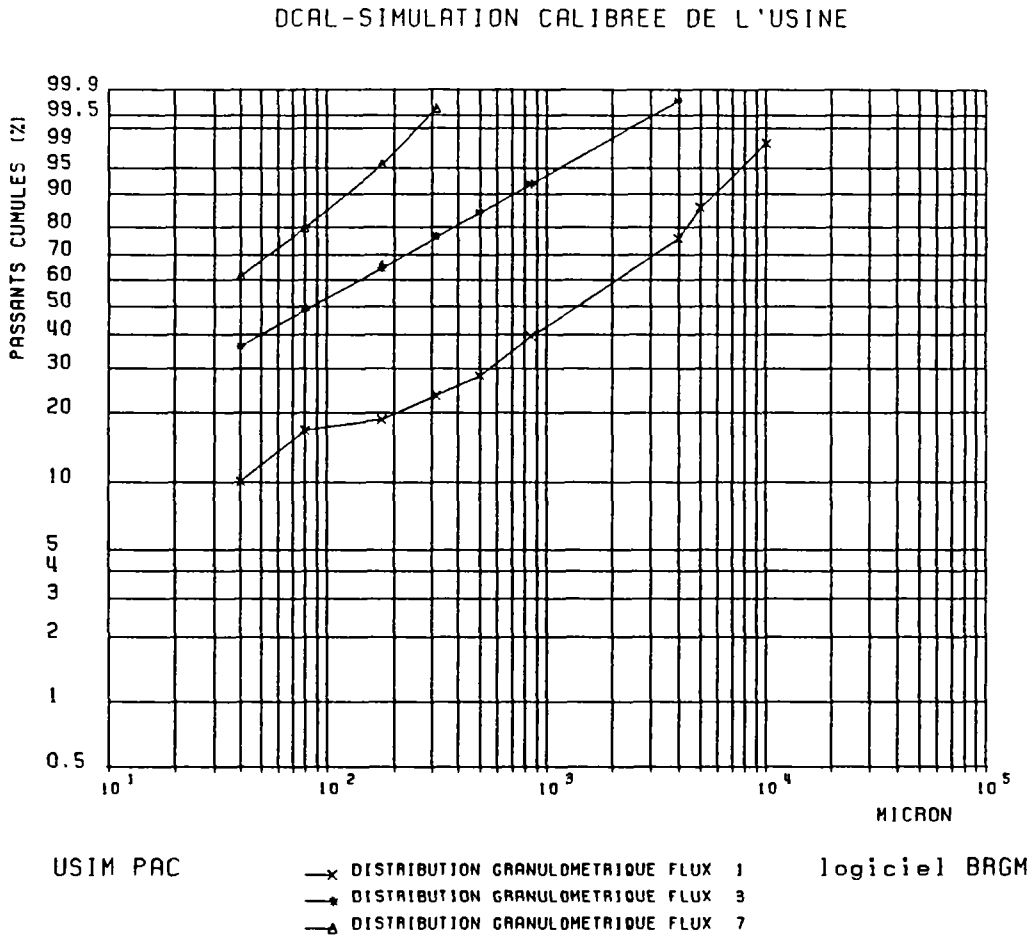


Figure II-52 : Exemple de tracé de courbes granulométriques globales pour 3 flux avec échelle des ordonnées de type Rosin-Rammler.

Remarque :

Le choix du périphérique d'impression se fait au travers de la procédure de SETUP.

II.22 - OPTION 22 : TRACE DE COURBES DE PARTAGE

Cette option permet d'effectuer le tracé de courbes de partage correspondant au fonctionnement d'un appareil ou d'un atelier. Cette courbe est obtenue à partir des informations contenues dans le fichier "initialisation" **.INI** ou dans le fichier **CONV.INI** qui contient les valeurs numériques issues d'une simulation d'**USIM PAC**.

Les informations à fournir comme le montre la figure II-53 sont :

- le nom du fichier "initialisation" **.INI**, ou **CONV** (sans extension),
- le nom du fichier "modèle de minerai" (.SIS) compatible,
- les numéros des flux de matières, grossier et fin, servant à calculer la courbe de partage,
- le titre qui apparaîtra sur le tracé,
- le type de courbe de partage granulométrique souhaité (globale ou par type de particule),
- le type d'échelle des ordonnées (Rosin-Rammler ou arithmétique),
- le type de tracé (points reliés ou non).

```
USIM PAC            COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE          logiciel BRGM
=================================================================================

 Nom du fichier
 initialisation à lire DEXP       Nom du fichier modèle de minerai DEXP

        Numéro du flux grossier   6    Numéro du flux fin   7

        Titre  DEXP-DONNEES EXPERIMENTALES DE L'USINE

        Courbe de partage granulométrique :
                 globale                          (1)
                 pour chaque type de particule    (2)    1

        Echelle des ordonnées: type Rosin-Rammler (1)
                               type arithmétique  (2)
                               type logarithmique (3)    2

        Tracé:     points seulement                (1)
                   points reliés par des segments (2)    2

                                                   <ESC> pour continuer
```

Figure II-53 : Ecran d'acquisition pour le tracé de courbe de partage granulométrique

Après acquisition des informations, la sortie de la page-écran provoque le tracé à l'écran de la courbe de partage correspondante.

Un message affiché en haut de l'écran vous demande de : taper **<R>** et **<Return>** pour revenir au menu principal, ou taper **<I>** et **<Return>** pour provoquer l'impression.

Lorsque l'impression est terminée, (figure II-54) appuyer sur **<Return>** pour revenir au menu principal.

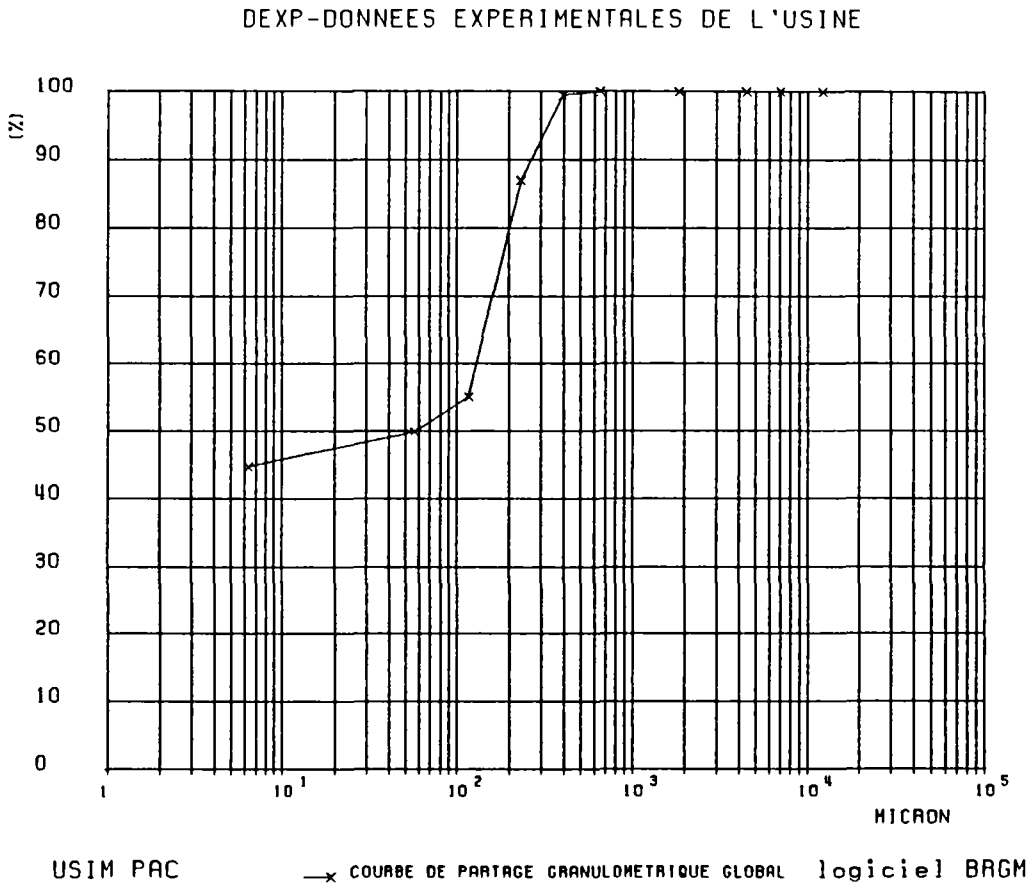


Figure II-54 : Exemple de tracé de courbe de partage granulométrique global

II.23 - OPTION 23 : VISUALISATION DES RESULTATS DE LA COURBE DE PARTAGE

Cette option permet de visualiser à l'écran les résultats du calcul de la courbe de partage granulométrique tracée précédemment, ainsi que le d_{50}, d_{25}, d_{75} et l'imperfection $((d_{75}-d_{25})/2d_{50})$, comme le montre la figure II-55.

II.24 - OPTION 24 : IMPRESSION DES RESULTATS DE LA COURBE DE PARTAGE

Cette option permet l'impression sur papier des résultats obtenus précédemment à l'écran.

COURBE DE PARTAGE

DEXP-DONNEES EXPERIMENTALES DE L'USINE
FLUX 6 et 7

MAILLE	GROSSIER			FIN			TOUT VENANT		% REFUS
micron	Poids %	Cumulés %	Poids %/T.V.	Poids %	Cumulés %	Poids %/T.V.	Poids %	Cumulés %	dans le grossier
15000.	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	100.00
10000.	0.19	0.20	0.12	0.00	0.00	0.00	0.12	0.13	100.00
5000.	0.23	0.43	0.15	0.00	0.00	0.00	0.15	0.28	100.00
4000.	11.90	12.33	7.64	0.00	0.00	0.00	7.64	7.92	100.00
850.	10.99	23.32	7.06	0.00	0.00	0.00	7.06	14.97	100.00
500.	12.21	35.53	7.84	0.11	0.11	0.04	7.88	22.85	99.50
315.	15.45	50.98	9.92	4.14	4.25	1.48	11.40	34.26	87.01
175.	12.17	63.15	7.81	17.73	21.98	6.35	14.16	48.42	55.19
80.	8.95	72.10	5.75	16.12	38.10	5.77	11.52	59.93	49.90
40.	27.90	100.00	17.92	61.90	100.00	22.15	40.07	100.00	44.71
1.									
TOTAL	100.00		64.21	100.00		35.79	100.00		

LE CALCUL DE L IMPERFECTION EST IMPOSSIBLE
CAR ON NE PEUT PAS OBTENIR DE D25

Figure II-55 : Tableau des résultats de calcul de courbe de partage tels qu'ils apparaissent à l'écran et sur imprimante

II.25 - OPTION 25 : IMPRESSION DU FLOWSHEET

Cette option permet, une fois un flowsheet mémorisé grâce à l'option 1, d'en obtenir une impression sur papier.

Le premier écran de cette option (figure II-56) demande :

- le nom du fichier correspondant au flowsheet que l'on souhaite tracer,
- le titre du flowsheet : ce titre apparaîtra sur le tracé papier que vous allez faire exécuter (et uniquement sur celui-ci, car il n'est pas conservé en mémoire).

Remarque :

le choix du périphérique d'impression se fait au travers de la procédure de SETUP.

```
USIM PAC                    TRACE DE FLOWSHEET                    logiciel BRGM

                 NOM DU FICHIER DE TRACE  DCAL

       TITRE DU FLOWSHEET  DCAL-FLOWSHEET DE L'USINE

                                                        <ESC> pour continuer
```

Figure II-56 : Tracé du flowsheet - Premier écran

Exercice

Comme sur la figure II-56 indiquez :

- nom du fichier de tracé : DCAL,
- titre du flowsheet : DCAL - FLOWSHEET,
- puis pressez les clefs <**Esc**> et <**PgDn**> pour changer de page.

Après quelques secondes, le tracé du flowsheet commence (figure II-57).

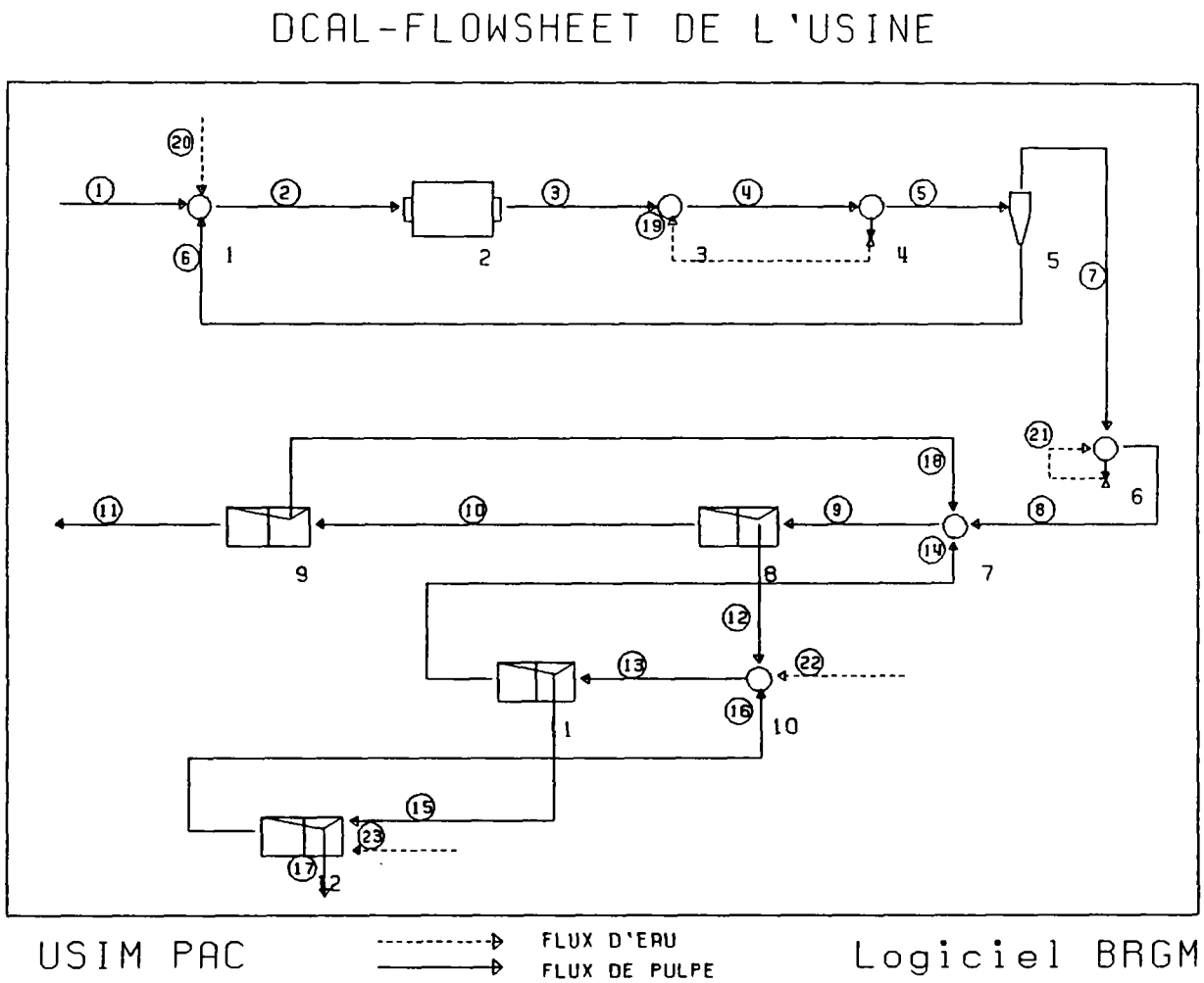


Figure II-57 : Tracé de flowsheet

BRGM

L'ENTREPRISE AU SERVICE DE LA TERRE

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
Direction Générale de la Science, de la Recherche
et du Développement
Rue de la Loi, 200 - 1049 BRUXELLES (Belgique)

document non public

développement et implantation d'un système modulaire de conduite intelligent pour les usines de traitement des minerais

application à l'atelier "délayage" de l'usine des Kaolins d'Arvor (Morbihan, France)

Volume 3 - Annexes

---

*J.-C. Guillaneau
*O. Guyot
*J.-F. Pastol
*A. Broussaud
**M. Jourdan
**J.-L. Maesen

contrat CCE MA1M-0058-C(CD)

mars 1991
R 32 785

*BRGM
DIRECTION DES ACTIVITÉS MINIÈRES
Département Minéralurgie
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - France - Tél.: (33) 38.64.34.34

**COPPÉE LAVALIN
Rue Louise, 251 - 1050 BRUXELLES - Belgique - Tél.: (32) 2.647.74.35

A N N E X E S

VOLUME 2:

ANNEXE 1: ANNEXE 1.a: Description logicielle détaillée du système

ANNEXE 1.b: Description détaillée de l'environnement WINDOWS

ANNEXE 2: Présentation des objectifs du projet et du schéma du système, réalisée au séminaire CCE de Warren Spring en février 1989

ANNEXE 3: Présentation du logiciel de simulation USIM PAC

VOLUME 3:

ANNEXE 4: Manuel d'aide à l'opérateur pour l'utilisation du système de supervision classique FIX

ANNEXE 5: Fiches synthétiques des modèles utilisés par le simulateur pour représenter les opérations unitaires de l'atelier délayage

ANNEXE 6: Description détaillée des algorithmes mathématiques utilisés dans le simulateur pour représenter les opérations unitaires de l'atelier délayage

ANNEXE 7: Configuration du logiciel de simulation pour l'atelier de délayage:
* courbes de partage des appareils de séparations
* rapport complet décrivant les flux du circuit (débits, granulométrie), et les caractéristiques des appareils

ANNEXE 8: Représentation schématique des résultats issus des différents tests réalisés hors ligne à partir du simulateur:
* comparaison des rendements atelier, calculés à partir de simulations et des rendements expérimentaux
* variations du comportement des paramètres majeurs de contrôle dans l'atelier, en fonction:
  - du débit initial du minerai
  - des variations de teneur en kaolin dans le minerai de départ

- ANNEXE 4 -

MANUEL D'AIDE A L'OPERATEUR POUR L'UTILISATION DU SYSTEME DE SUPERVISION CLASSIQUE FIX

KAOLINS D'ARVOR

BRGM

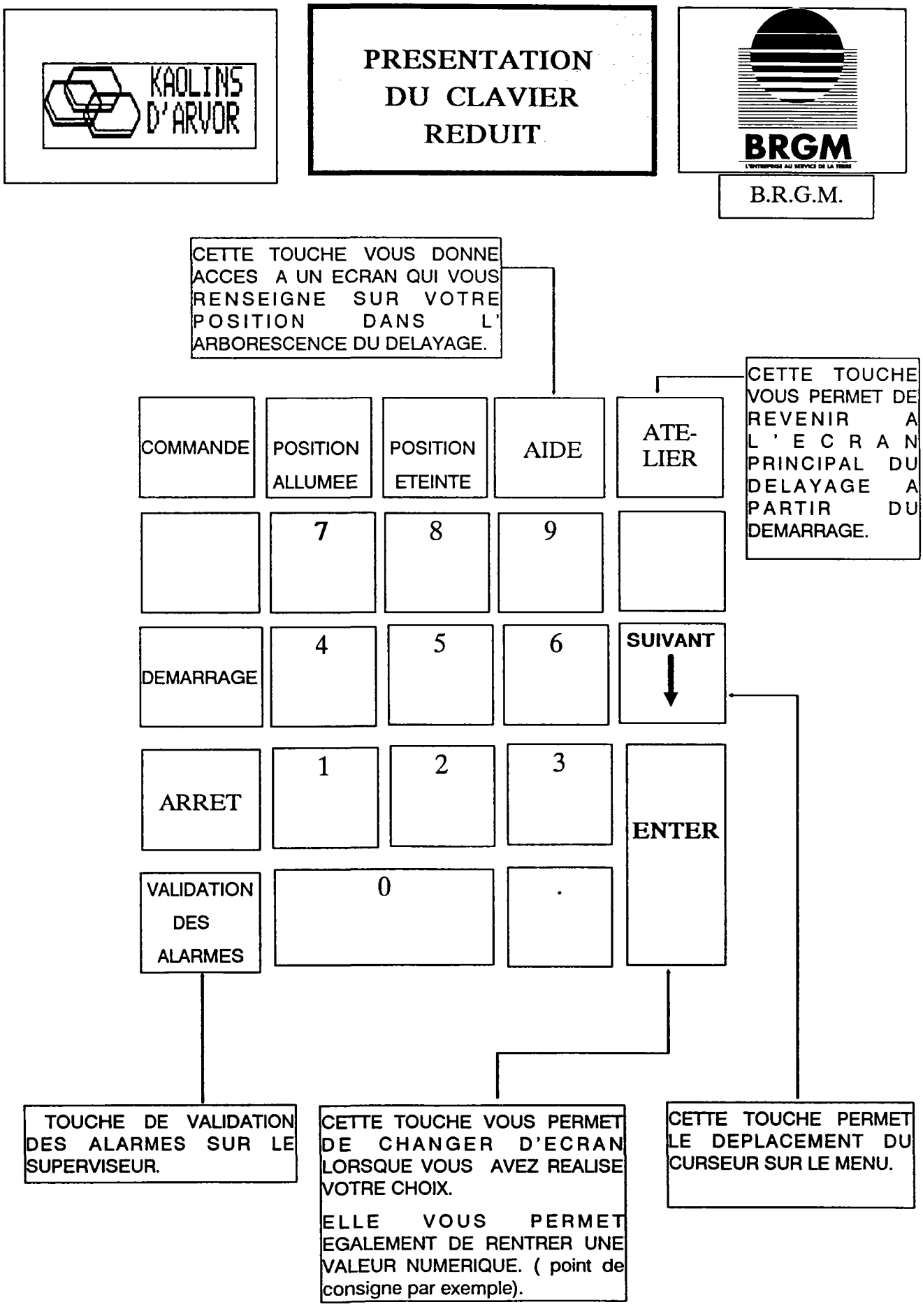
B.R.G.M.

SUPERVISION

DELAYAGE

MANUEL

OPERATEUR


KAOLINS D'ARVOR
PRESENTATION DU CLAVIER REDUIT
BRGM
B.R.G.M.
CETTE TOUCHE VOUS DONNE ACCES A UN ECRAN QUI VOUS RENSEIGNE SUR VOTRE POSITION DANS L' ARBORESCENCE DU DELAYAGE.
CETTE TOUCHE VOUS PERMET DE REVENIR A L'ECRAN PRINCIPAL DU DELAYAGE A PARTIR DU DEMARRAGE.
COMMANDE
POSITION ALLUMEE
POSITION ETEINTE
AIDE
ATE-LIER
7
8
9
DEMARRAGE
4
5
6
SUIVANT
ARRET
1
2
3
ENTER
VALIDATION DES ALARMES
0
.
TOUCHE DE VALIDATION DES ALARMES SUR LE SUPERVISEUR.
CETTE TOUCHE VOUS PERMET DE CHANGER D'ECRAN LORSQUE VOUS AVEZ REALISE VOTRE CHOIX.
ELLE VOUS PERMET EGALEMENT DE RENTRER UNE VALEUR NUMERIQUE. (point de consigne par exemple).
CETTE TOUCHE PERMET LE DEPLACEMENT DU CURSEUR SUR LE MENU.

KAOLINS D'ARVOR

MISE EN ROUTE DE L'ORDINATEUR

BRGM

B.R.G.M.

☞ **METTRE LE BOUTON ROUGE DE LA FACE AVANT DE L'ORDINATEUR SUR ON**

Lorsque l'ordinateur est en route:

➡ Un certain nombre de messages défilent sur l'écran pendant moins d'une minute.

➡ l'écran devient noir , un seul message restant affiché:

STRIKE ANY KEY WHEN READY.....

➡Dans les 10 secondes suivantes 8 messages s'affichent sur l'écran:

SENDING POLL TABLE N1...
SENDING POLL TABLE N1...
SENDING POLL TABLE N2...
SENDING POLL TABLE N2...
SENDING POLL TABLE N3...
CONNEXION FESTO
SENDING POLL TABLE N3...
DURATION 5 S

➡ L' ordinateur est alors connecté à l'automate.

☞ **APPUYER ENSUITE SUR LA TOUCHE " ENTER ". L' ECRAN REPRESENTANT UNE VUE GLOBALE DU DELAYAGE APPARAIT (voiir figure 1 de ce manuel).**

KAOLINS D'ARVOR

CHANGEMENT D'ECRAN

BRGM

B.R.G.M.

☞POUR CHANGER D' ECRAN ; DEPLACEZ LE CURSEUR QUI SE TROUVE SUR LE MENU DE CHAQUE IMAGE, EN UTILISANT LA TOUCHE " SUIVANT ", LORSQU'IL SE TROUVE SUR LE NOM DE L'ECRAN CHOISI, APPUYEZ SUR LA TOUCHE "ENTER".

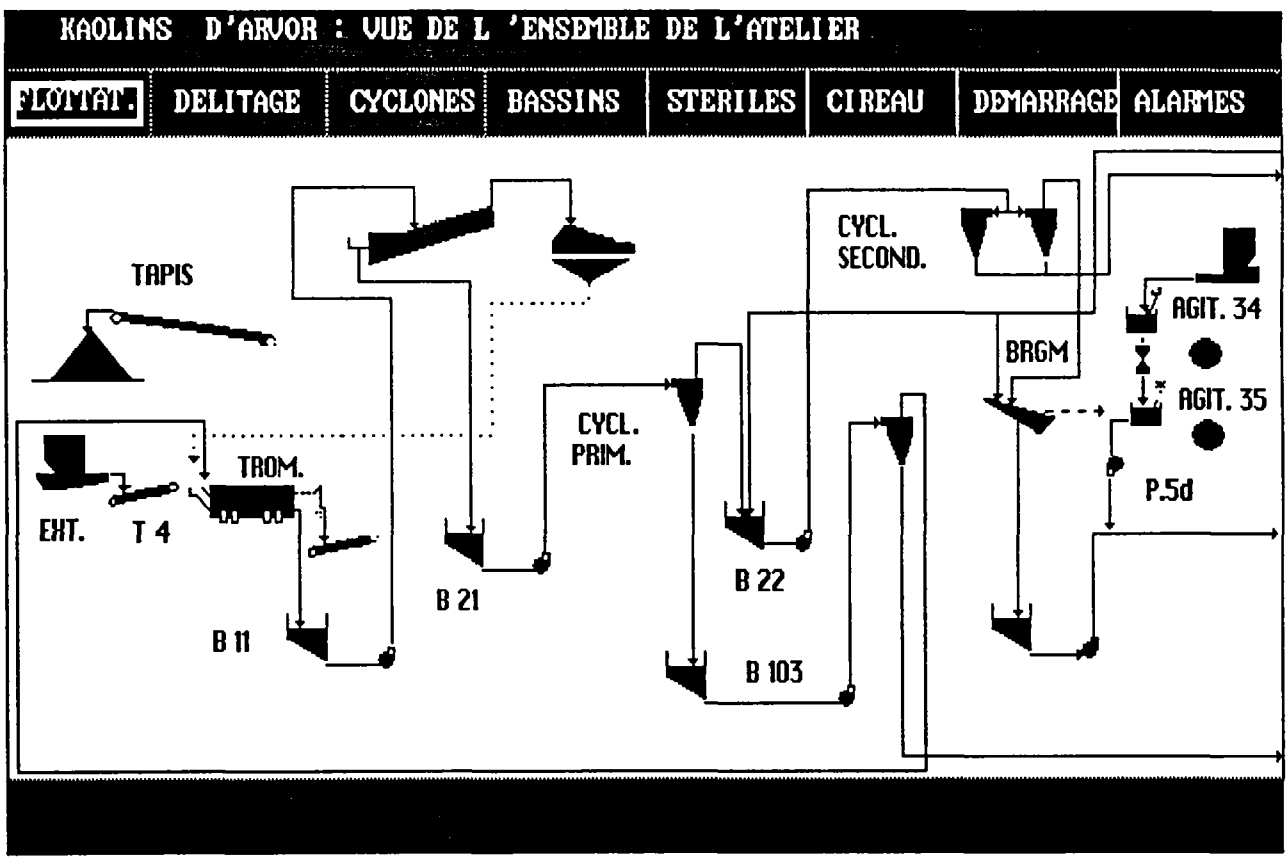
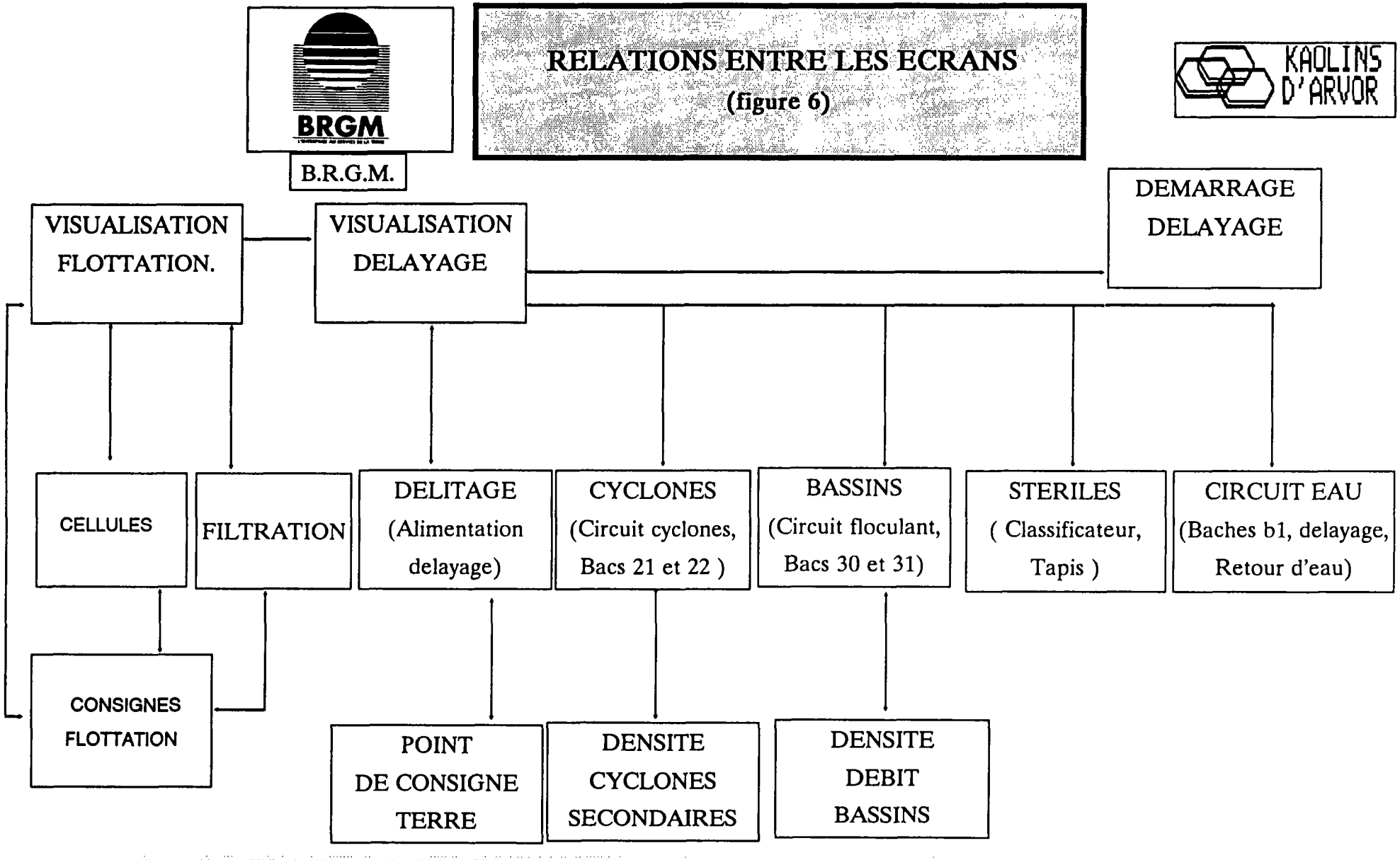


FIGURE 1 : vue generale du delayage.

↓ SUIVANT	TOUCHE DE DEPLACEMENT DU CURSEUR SUR LA BARRE DE MENUS.
ENTER	TOUCHE DE VALIDATION POUR QUE L'ECRAN SOIT REMPLACE PAR CELUI CHOISI.


BRGM
B.R.G.M.
RELATIONS ENTRE LES ECRANS
(figure 6)
KAOLINS D'ARVOR
VISUALISATION FLOTTATION.
VISUALISATION DELAYAGE
DEMARRAGE DELAYAGE
CELLULES
FILTRATION
DELITAGE (Alimentation delayage)
CYCLONES (Circuit cyclones, Bacs 21 et 22)
BASSINS (Circuit floculant, Bacs 30 et 31)
STERILES (Classificateur, Tapis)
CIRCUIT EAU (Baches b1, delayage, Retour d'eau)
CONSIGNES FLOTTATION
POINT DE CONSIGNE TERRE
DENSITE CYCLONES SECONDAIRES
DENSITE DEBIT BASSINS
ECRANS DE TENDANCES

SUIVI DU DEMARRAGE(1/2)

B.R.G.M.

☞LORSQUE LA VUE DU DELAYAGE APPARAIT A LA MISE EN MARCHE DE L'ORDINATEUR, SELECTIONNER LA CASE DEMARRAGE DU MENU ET VALIDEZ.L'ECRAN DE SUIVI DU DEMARRAGE APPARAIT ALORS (voir figure 2 ci dessous).

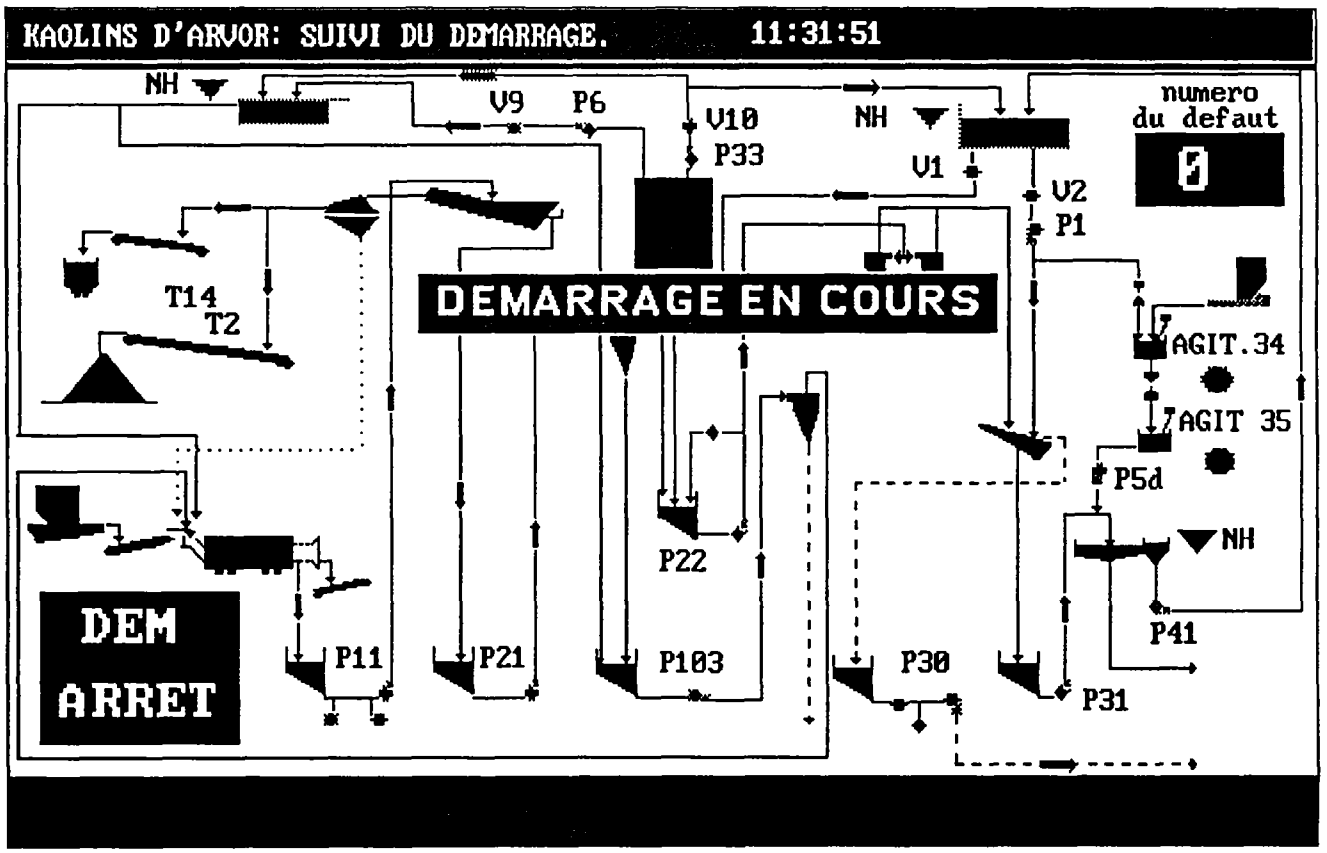


FIGURE 2 : SUIVI DU DEMARRAGE

LORSQUE LE DEMARRAGE EST LANCE LE MESSAGE "DEMARRAGE EN COURS" EST AFFICHE A L'ECRAN. VOUS POUVEZ SUIVRE LA MISE EN ROUTE DES DIFFERENTS APPAREILS (CHANGEMENT DE COULEUR GRIS - VERT).

SUIVI DU DEMARRAGE(2/2)

B.R.G.M.

LORSQUE LE DEMARRAGE EST TERMINE, LE MESSAGE "DEMARRAGE TERMINE" EST AFFICHE SUR L'ECRAN. (VOIR FIGURE 3 CI DESSOUS).

☞ **APPUYEZ ALORS SUR LA TOUCHE ATELIER POUR REVENIR A LA VISUALISATION EN FONCTIONNEMENT NORMAL. (VOUS REVENEZ ALORS A LA VUE GENERALE DU DELAYAGE).**

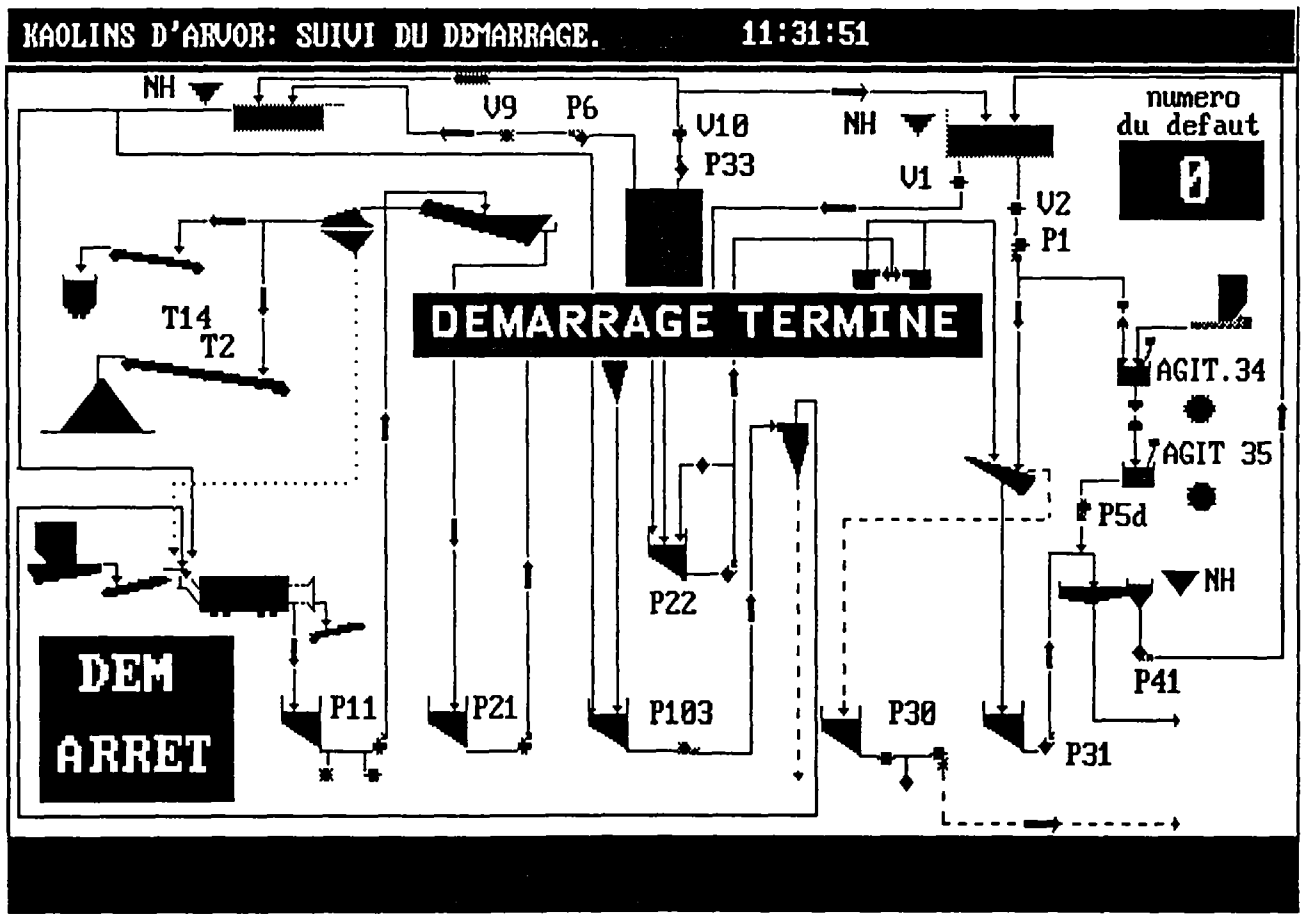


FIGURE 3 : SUIVI DU DEMARRAGE

KAOLINS D'ARVOR

SUIVI DE L'ATELIER EN FONCTIONEMENT (1/4)

BRGM

B.R.G.M.

POUR LE SUIVI DU DELAYAGE ET DE LA FLOTTATION L'ATELIER EST DIVISE EN PUSIEURS ECRAN

LA FIGURE6 MONTRE LE DECOUPAGE DE L'ATELIER AVEC LES NOMS DES ECRANS.

➡ VOUS POUVEZ VISUALISER SOIT DIFFERENTES PARTIES DU DELAYAGE SOIT LA FLOTTATION LORSQUE CELLE CI EST EN ROUTE.

➡ LES ECRANS DE TENDANCES VOUS PERMETTENT DE SUIVRE L'EVOLUTION DES DIFFERENTES VALEURS DE L'ATELIER . (DEBITS, DENSITES...).

CONVENTION POUR LE FONCTIONNEMENT DES APPAREILS:

➡ LORSQU' UN APPAREIL EST EN FONCTIONNEMENT , IL EST EN **VERT**, S'IL EST A L'ARRET IL RESTE EN **GRIS.**

➡ POUR LES POMPES, LA PASTILLE DU MILIEU INDIQUE L'ETAT DE LA POMPE.

POUR LES NIVEAUX, LES TRIANGLES INDIQUENT SI LE NIVEAU EST ATTEINT OU NON:

ROUGE: LE NIVEAU EST ATTEINT.

GRIS : NIVEAU RELACHE.

SUIVI DE L'ATELIER EN FONCTIONEMENT (2/4)

B.R.G.M.

LES FIGURES SUIVANTES DECRIVENT QUELQUES ECRANS DU DELAYAGE.

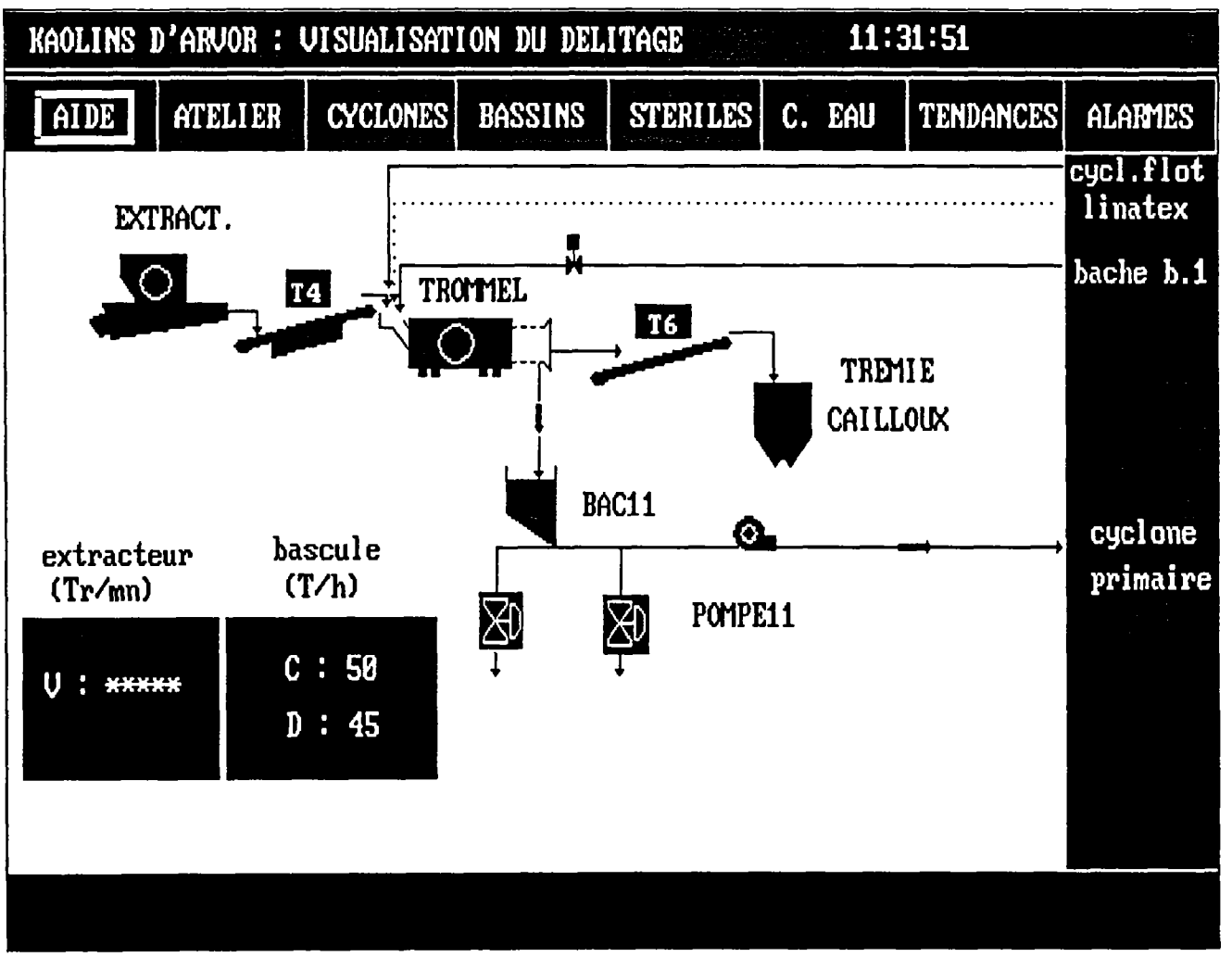


FIGURE 7 : visualisation du delitage

SUIVI DE L'ATELIER EN FONCTIONEMENT (3/4)

B.R.G.M.

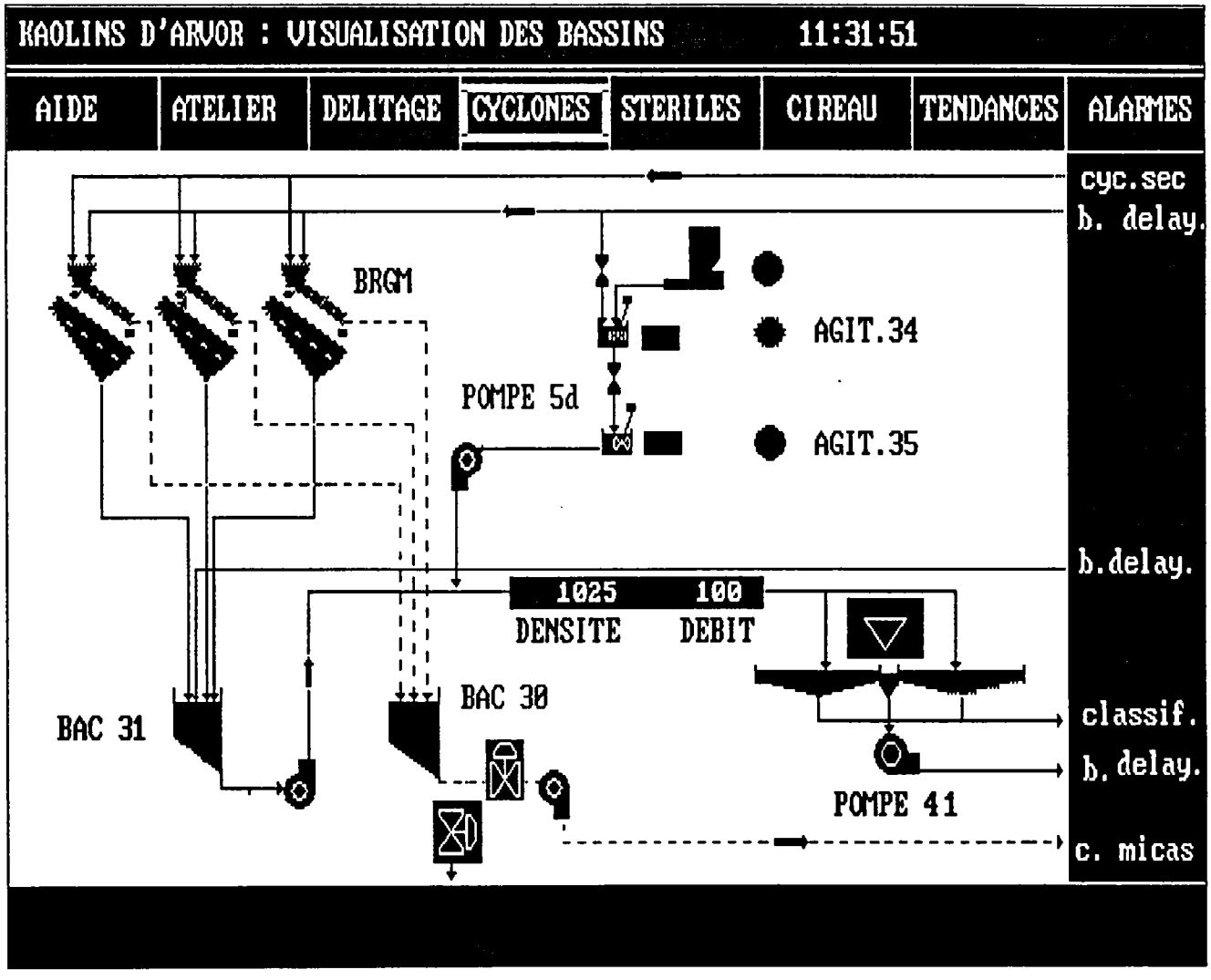
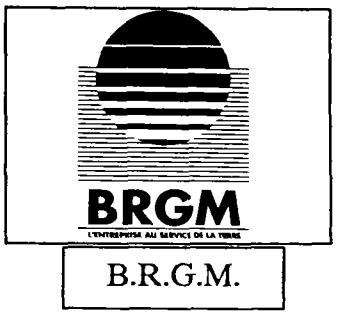


FIGURE 8 : VISUALISATION DES BASSINS

SUIVI DE L'ATELIER EN FONCTIONEMENT (4/4)



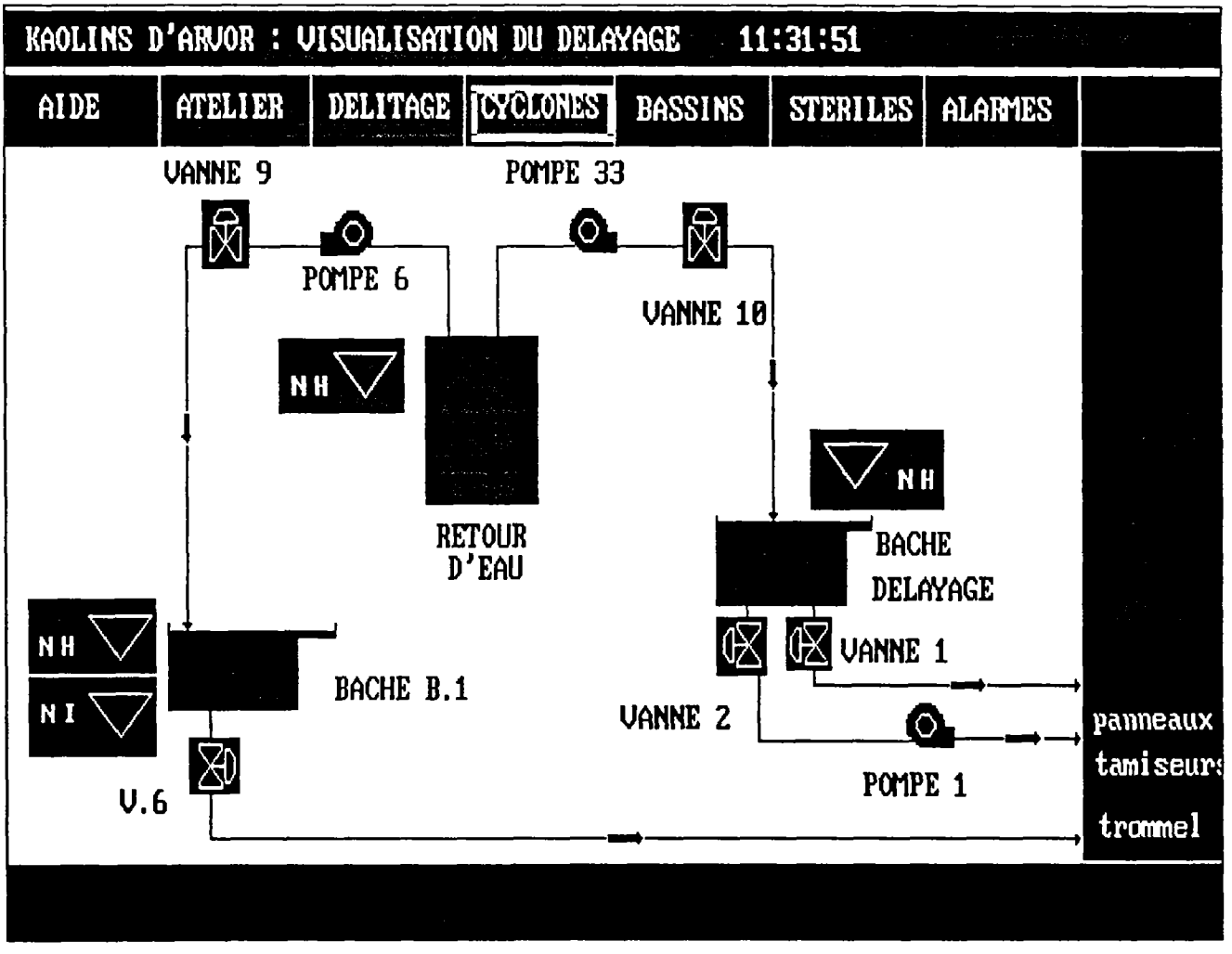
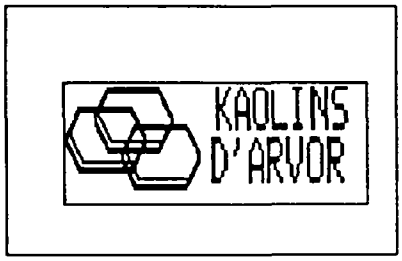


FIGURE 9 : VISUALISATION DU CIRCUIT EAU.



DEFAUT EN FONCTIONNEMENT NORMAL (1/2)

B.R.G.M.

SI UN DEFAUT SURVIENT PENDANT LE FONCTIONNEMENT DE L'ATELIER, UN MESSAGE APPARAIT SUR CHAQUE ECRAN (sauf sur les ecrans de tendances):

- DEFAUT DELAYAGE: s'il s'agit d'un defaut sur la partie delayage.
- DEFAUT FLOTTATION: s'il s'agit d'un defaut sur la partie flottation.
- ARRET D'URGENCE : s'il s'agit d'un arret d'urgence.

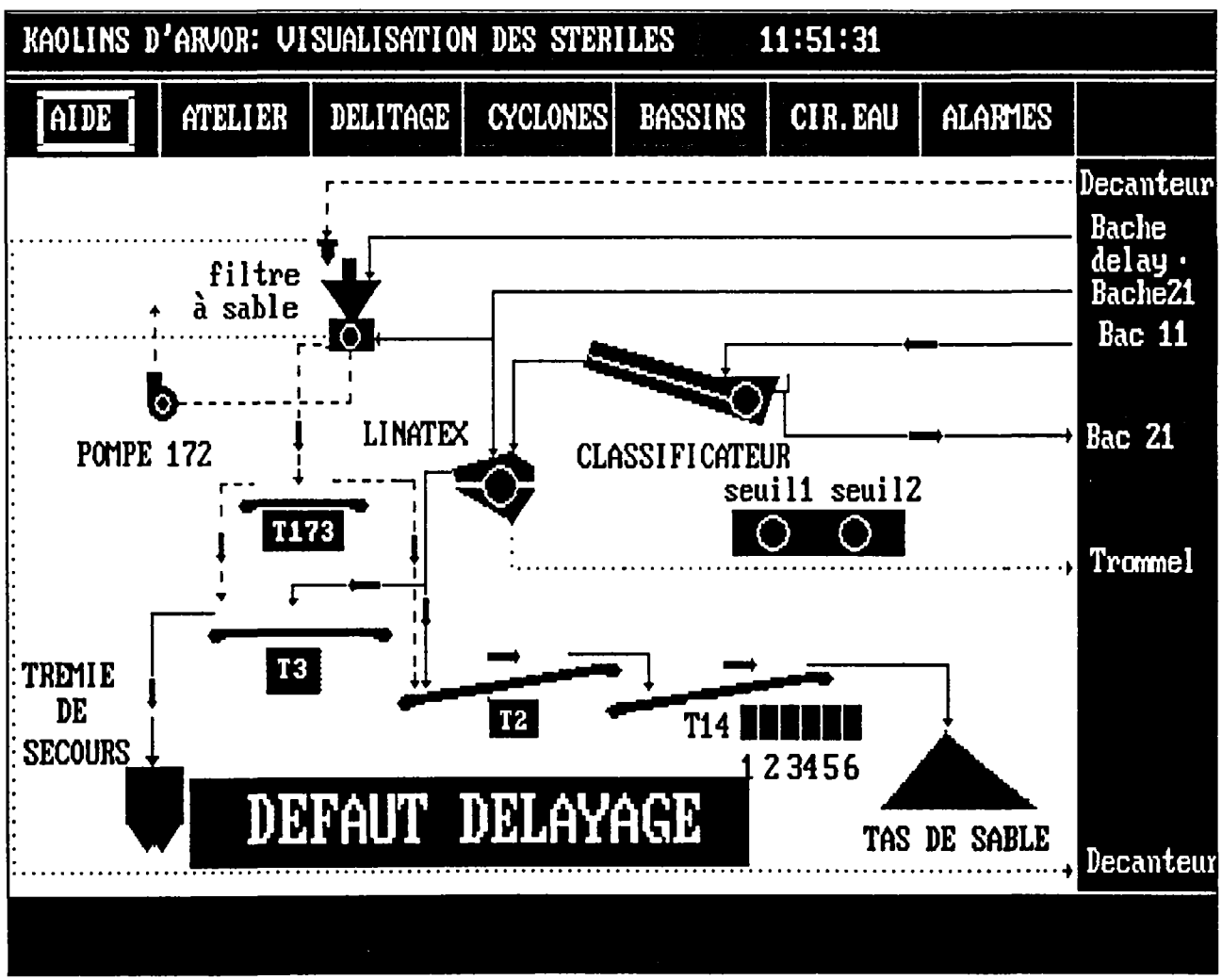


FIGURE 10 : visualisation d'un defaut.

KAOLINS D'ARVOR

DEFAUT EN FONCTIONNEMENT NORMAL (2/2)

BRGM

B.R.G.M.

PROCEDURE A SUIVRE EN CAS DE DEFAUT:

S'IL S'AGIT D'UN DEFAUT PONCTUEL:

☞**DEPLACEZ VOUS SUR L'ECRAN ALARMES POUR IDENTIFIER LE DEFAUT**

➡SUR CET ECRAN D'ALARMES UN MESSAGE COMME CI DESSOUS VOUS DONNE LA NATURE DU DEFAUT:

EXEMPLE : 11:31:20 arpompe11 cfn close DEFAUT POMPE11

CE MESSAGE EST EGALEMENT INSCRIT SUR L'IMPRIMANTE.

☞ **VALIDEZ LE DEFAUT AU NIVEAU DE L'AUTOMATE, EN APPUYANT SUR LE BOUTON POUSSOIR PLACE DANS L'ARMOIRE DE L'AUTOMATE.**

☞ **DEPLACEZ VOUS SUR L'ECRAN OU SE TROUVE L'APPAREIL. CE DERNIER CLIGNOTE EN ROUGE.**

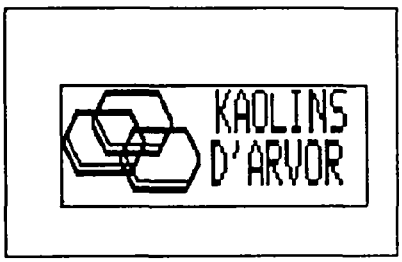
☞ **VALIDEZ SUR LE SUPERVISEUR A L'AIDE DE LA TOUCHE "VALIDATION ALARMES".**

➡LE MESSAGE "DEFAUT DELAYAGE" DISPARAITRA DES QUE L'ATELIER AURA REPRIS SON FONCTIONNEMENT NORMAL

S'IL S'AGIT D'UN ARRET D'URGENCE:

ii☞ VALIDEZ AU NIVEAU DE L' AUTOMATE..

LE MESSAGE **"ARRET D'URGENCE"** DISPARAITRA DES QUE L'ATELIER SERA DANS LA PHASE DE DEMARRAGE.



APPARITON D'UN DEFAUT AU COURS DU DEMARRAGE

SI UN DEFAUT APPARAIT LORS DE LA PHASE DE DEMARRAGE:

- LE MESSAGE **'DEFAUT DEMARRAGE'** APPARAIT A L'ECRAN. (VOIR FIGURE 3 CI DESSOUS).
- UN NUMERO EST INSCRIT DANS LA CASE **'NUMERO DU DEFAUT'**.

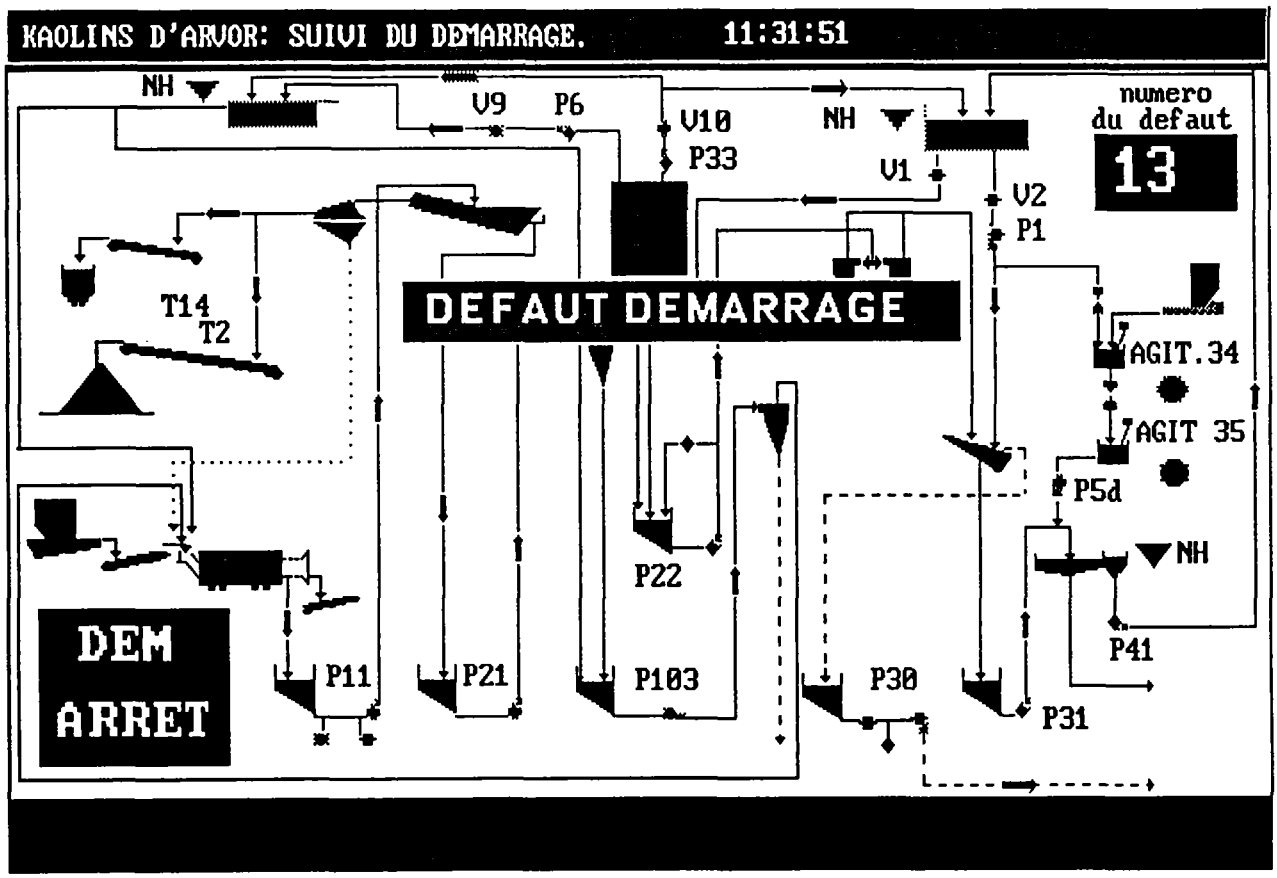


FIGURE 4 : SUIVI DU DEMARRAGE

☞ **APPUYEZ SUR LA TOUCHE 'AIDE'. UN NOUVEL ECRAN CONTENANT LA LISTE DES DEFAUTS ET LEUR CORRESPONDANCE APPARAIT. (APPUYEZ SUR 'ENTER' POUR REVENIR A LA VISUALISATION DU DEMARRAGE LORSQUE VOUS AVEZ REPERTORIE LE DEFAUT.)**

☞ **VALIDEZ LE DEFAUT SUR L'AUTOMATE. LA PHASE DE DEMARRAGE REPREND ENSUITE.**

CHANGEMENT DU POINT DE CONSIGNE TERRE

B.R.G.M.

POUR CHANGER LA VALEUR DU POINT DE CONSIGNE:

☞ DEPLACEZ VOUS SUR LA PARTIE DELITAGE DU DELAYAGE.

☞ CHOISISSEZ L'ECRAN TENDANCES.

☞ LORSQUE CELUI-CI EST VISUALISE APPUYEZ SUR LA TOUCHE "COMMANDE".

☞ DEPLACEZ LE CURSEUR SUR LA CASE "POINT DE CONSIGNE" A L'A IDE DE LA TOUCHE "SUIVANT", TAPEZ ENSUITE LA NOUVELLE VALEUR ET VALIDEZ A L'AIDE DE LA TOUCHE "ENTER".

☞ DEPLACEZ LE CURSEUR SUR LA CASE DELITAGE EST VALIDEZ POUR REVENIR A L'ECRAN DU DELITAGE.

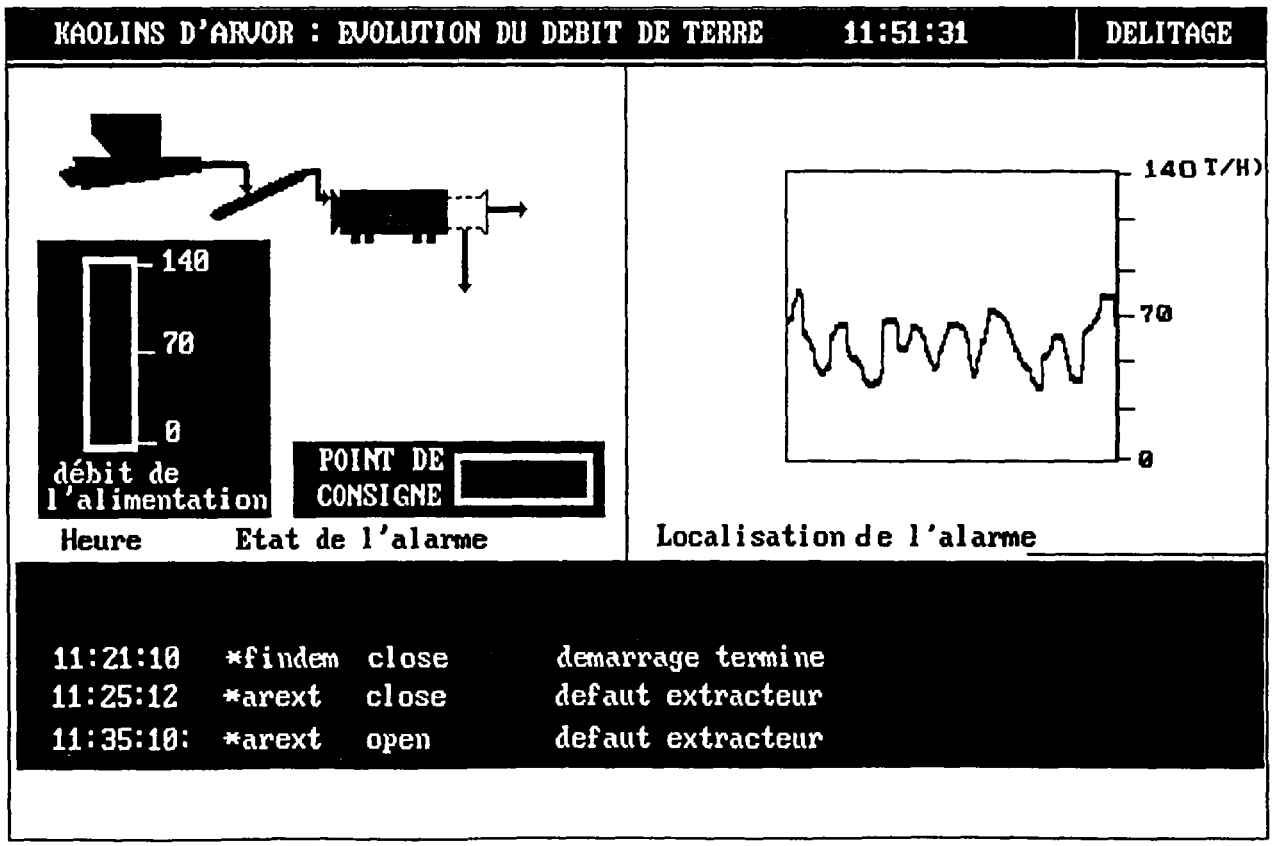
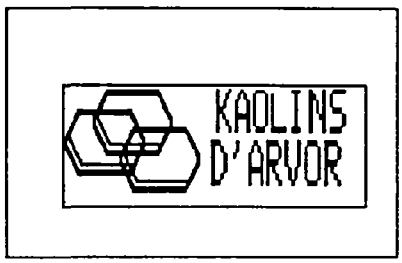


FIGURE 12 : CHANGEMENT DE LA CONSIGNE



CHANGEMENT DE LA DENSITE AUX CYCLONES

B.R.G.M.

POUR CHANGER LA VALEUR DE LA DENSITE AUX CYCLONES :
(A EFFECTUER TOUTES LES HEURES)

☞ **DEPLACEZ VOUS SUR LA PARTIE CYCLONES DU DELAYAGE.**

☞ **DEPLACEZ LE CURSEUR SUR LA CASE "DENSITE DES CYCLONES " A L'AIDE DE LA TOUCHE "SUIVANT", TAPEZ ENSUITE LA NOUVELLE VALEUR ET VALIDEZ A L'AIDE DE LA TOUCHE "ENTER".**

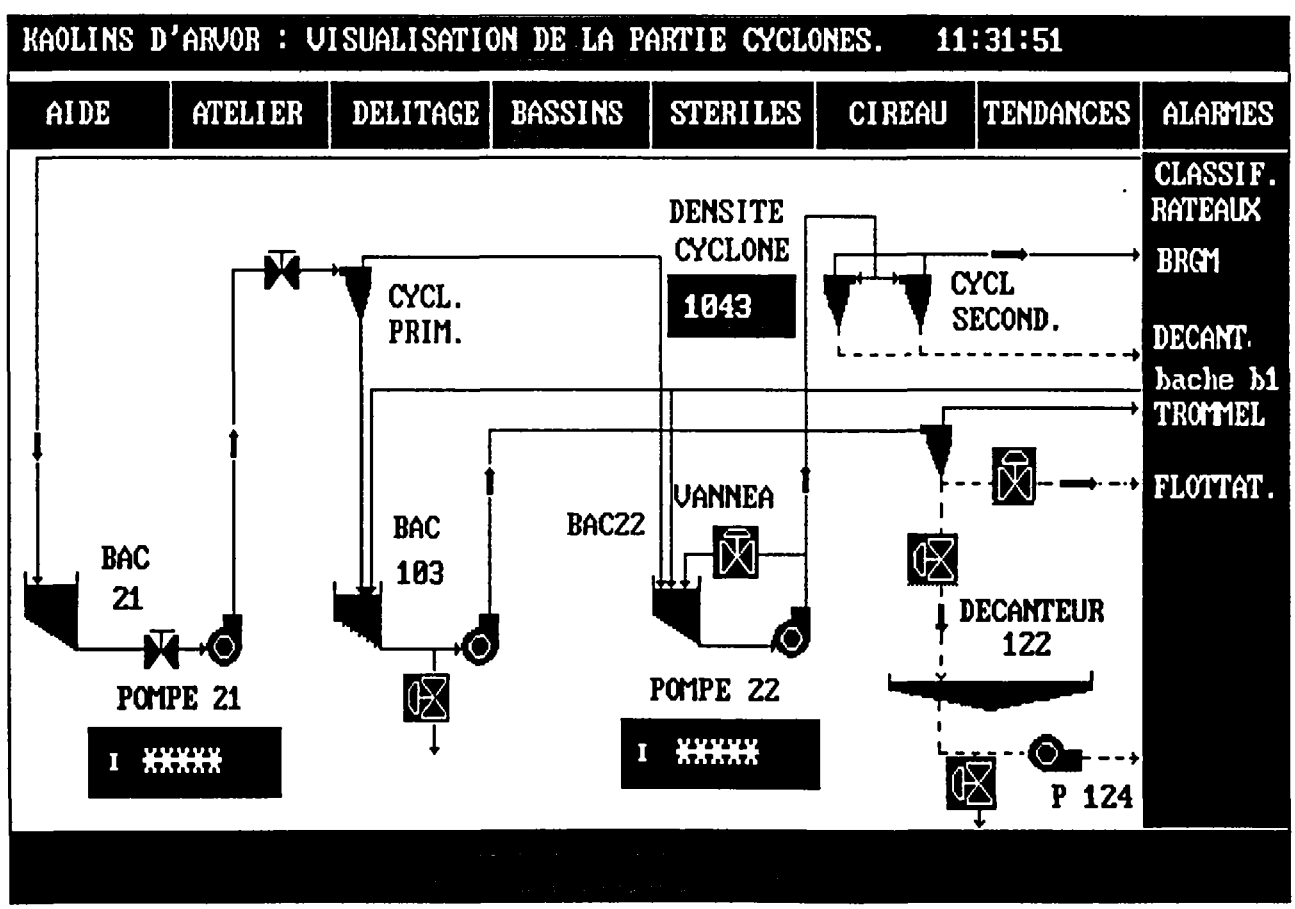
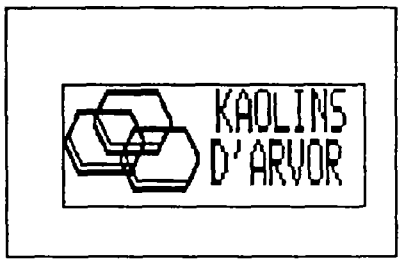


FIGURE 13 : CHANGEMENT DE LA DENSITE AUX CYCLONES



ACCES AUX ECRANS D'AIDE.

SUR PRATIQUEMENT TOUS LES MENUS VOUS AVEZ UNE CASE AIDE. EILLE VOUS DONNE ACCES A UN SCHEMA QUI VOUS INDIQUE VOTRE POSITION DANS L'ARBORESCENCE DES MENUS.

VOUS POUVEZ Y AVOIR ACCES EN APPUYANT DIRECTEMENT SUR LA TOUCHE **"AIDE"** DU CLAVIER.

POUR QUITTER UN ECRAN D'AIDE, APPUYEZ SIMPLEMENT SUR LA TOUCHE "ENTER".

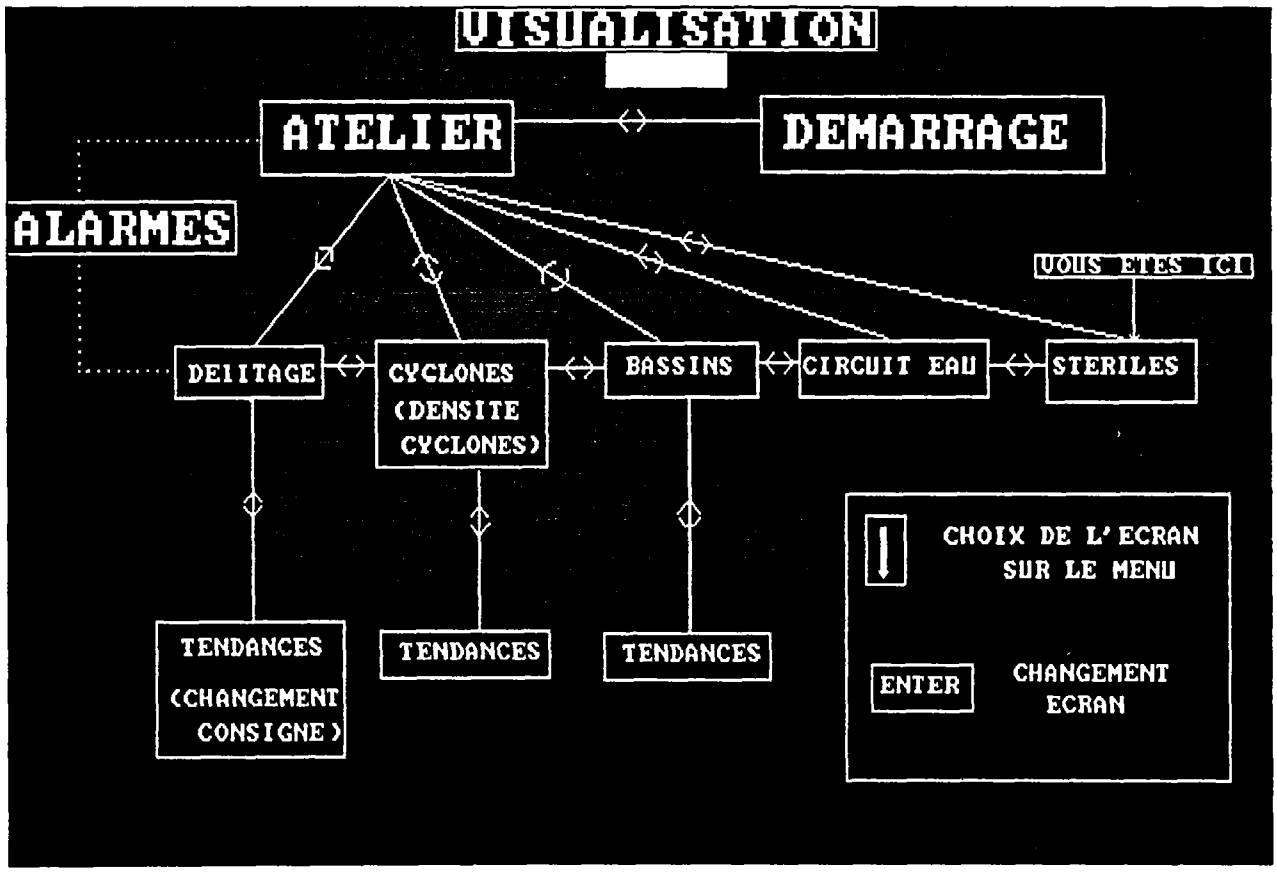


FIGURE 11 : EXEMPLE D'ECRAN D'AIDE

- ANNEXE 5 -

FICHES SYNTHETIQUES DES MODELES UTILISES PAR LE SIMULATEUR POUR REPRESENTER LES OPERATIONS UNITAIRES DE L'ATELIER DELAYAGE

REGULATEUR:

REGULATEUR DENSITE

PARAMETRE QUE VOUS DEVEZ SPECIFIER (Option 4)

Paramètre	Valeur par défaut
Concentration en solide (%)	50.

<u>Remarque sur l'utilisation pratique du modèle en simulation</u> :

- Lors du tracé de flowsheet, cet appareil peut soit suivre un mélangeur (ou tout autre unité ayant 1 seul flux de sortie), soit être utilisé seul. Tracez un flux d'eau partant de la vanne du régulateur de densité et aboutissant au mélangeur ou au régulateur. La consultation du débit de ce flux lors de la simulation vous permettra de connaître l'ajout d'eau qui est nécessaire pour obtenir la concentration solide requise en sortie du régulateur.

CALIBRAGE DU MODELE

Le modèle n'a aucun paramètre d'ajustement.

REGULATEUR:

REGULATEUR VOLUMIQUE

PARAMETRE QUE VOUS DEVEZ SPECIFIER (Option 4)

Paramètre	Valeur par défaut
Débit volumique de pulpe (m3/h)	50.

<u>Remarque sur l'utilisation pratique du modèle en simulation</u> :

- Lors du tracé de flowsheet, cet appareil peut soit suivre un mélangeur (ou tout autre unité ayant 1 seul flux de sortie) soit être utilisé seul. Tracez un flux d'eau partant de la vanne du régulateur et aboutissant au mélangeur ou au régulateur. La consultation du débit de ce flux lors de la simulation vous permettra de connaître l'ajout d'eau qui est nécessaire pour obtenir le débit volumique spécifié en sortie du régulateur.

CALIBRAGE DU MODELE

Le modèle n'a aucun paramètre d'ajustement.

GRILLE COURBE:
GRILLE PLANE OU PANNEAU TAMISEUR:
CRIBLE:

CLASSIFICATEUR PARFAIT

PARAMETRES QUE VOUS DEVEZ SPECIFIER (Option 4)

Paramètres	Valeurs par défaut
Dimension de coupure (mm)	1.0
Pourcentage de solides dans le flux grossier (%)	70.0

THEORIE

Ce modèle est basé sur une coupure parfaite à une dimension donnée. Le partage de l'eau est donné par l'utilisateur.

CALIBRAGE DU MODELE

Ce modèle n'a pas de paramètres d'ajustement.

GRILLE COURBE:
GRILLE PLANE OU PANNEAU TAMISEUR:
CRIBLE:

CRIBLE NIVEAU OA

PARAMETRES QUE VOUS DEVEZ SPECIFIER (option 4)

Paramètres	Valeurs par défaut
Soutirage de la loi de Degoul (%)	10.0
d50 réduit de la loi de Degoul (mm)	0.5
Imperfection de la courbe de partage réduite (fraction)	0.2

THEORIE

. Ce modèle utilise une loi de Degoul pour représenter la courbe de partage qui est donc de la forme :

$$Y = H + (1 - H)\ (X^M/(X^M + A^M))$$

où X est la taille moyenne des particules d'une classe granulométrique,
Y la fraction de la classe passant dans les refus,
H le soutirage,
A le d_{50} corrigé,
M le paramètre caractérisant l'acuité de la séparation et appelé "pente". Il est lié à l'imperfection par la relation :

$$M = \log(3)/\log\ (I + \sqrt{(I^2 + 1)})$$

où I est l'imperfection $I = \dfrac{d_{75c} - d_{25c}}{2d_{50c}}$

et d_{75c} et d_{25c} : d_{75} et d_{25} corrigés.

CALIBRAGE DU MODELE

Les trois paramètres visibles doivent être calibrés à l'aide de l'option 12.

On peut visualiser la courbe de partage par l'option 22 et estimer ainsi le soutirage.

On calibre ensuite en même temps le d_{50} corrigé de la loi de Degoul et l'imperfection. Puis on affine enfin l'estimation du soutirage.

GRILLE COURBE:
GRILLE PLANE OU PANNEAU TAMISEUR:
CRIBLE:

CRIBLE NIVEAU OB

PARAMETRES QUE VOUS DEVEZ SPECIFIER (Option 4)

Paramètres	Valeurs par défaut
Soutirage de la loi de Degoul (%)	10.0
d80 (mm) en sortie pour le flux fin	0.1
Imperfection de la courbe de partage réduite (fraction)	0.2

THEORIE

Comme le crible niveau OA, ce modèle utilise une loi de Degoul pour représenter la courbe de partage. Cependant, le d50 corrigé n'est pas connu. On a recours à une procédure itérative décrite ci-dessous :

Première estimation : d50 corrigé = d80 du flux fin
↓
Calcul de l'efficacité de partage
↓
Calcul des sorties
↓
Calcul du d80 du flux fin : d80s
↓
Si $\frac{d80s - d80}{d80} < \epsilon$, fin du modèle
↓
Sinon, ajustement du d50 : $d50r = d50r \times (1 + \frac{d80 - d80s}{d80})$

avec :
d50r : d50 réduit
d80s : d80 du flux fin

CALIBRAGE DU MODELE

La procédure est identique au crible niveau OA. La meilleure façon de calibrer le d80 du flux fin est cependant de visualiser la distribution granulométrique du flux fin par l'option 21.

<u>Remarque</u> :

- **Lors de la conception préliminaire de circuits de broyage, le d80 du flux fin définit une performance du circuit. L'utilisation de ce modèle facilitera cette conception.**

GRILLE COURBE:
GRILLE PLANE OU PANNEAU TAMISEUR:
CRIBLE:

CRIBLE NIVEAU 1A

PARAMETRES QUE VOUS DEVEZ SPECIFIER (Option 4)

Paramètres	Valeurs par défaut
Nombre de cribles en parallèle	1.0
Maille du crible (mm)	0.5
Largeur des barreaux (mm)	1.5
Largeur du crible (m)	1.5
Rapport longueur/largeur du crible	1.5

THEORIE

. Le modèle, dérivé des travaux de VALLIANT, se base sur le calcul de la probabilité qu'a une particule de diamètre donné de passer à travers les mailles du crible à la suite des rebonds qu'elle effectue en le traversant. Le nombre de rebonds est relié aux paramètres géométriques du crible et au débit volumique d'alimentation.

Remarque :

. **Ce modèle ne tient pas compte de l'effet favorable ou défavorable d'une variation de la concentration solide d'alimentation sur l'efficacité de criblage.**

CALIBRAGE DU MODELE

Ce modèle a deux paramètres d'ajustement, le "paramètre d'efficacité de criblage" qui intervient dans le calcul du nombre moyen de rebonds d'une particule passant dans le crible et le "soutirage". Ces deux paramètres seront calibrés simultanément par l'option 12.

GRILLE COURBE:
GRILLE PLANE OU PANNEAU TAMISEUR:
CRIBLE:

CRIBLE NIVEAU 1B

PARAMETRES QUE VOUS DEVEZ SPECIFIER (Option 4)

Paramètres	Valeurs par défaut
Nombre de cribles en parallèle	1.
Largeur du crible (m)	2.
Rapport longueur/largeur du crible	1.5
Ouverture minimale du crible (mm)	5.
Diamètre des barreaux (mm) ou 0 si ouvertures non carrées	2.
Angle du crible par rapport à l'horizontale (degré)	20.
Pourcentage de solides dans le flux grossier (%)	75.
Position du crible dans un crible à étages multiple (haut = 1, second = 2, etc)	1.

THEORIE

. Ce modèle a été développé par V.K. KARRA "Development of a model for predicting the screening performance of a vibrating screen", CIM bulletin, April 1979, et a été modifié par L.R. PLITT en 1990.

. Ce modèle utilise une relation empirique entre le d50 réduit ($d50_r$) et les paramètres décrivant l'alimentation et l'équipement. Une courbe de partage décrit la séparation solide-solide relative au d50 réduit.

. Ce modèle peut être appliqué à une séparation par voie humide ou par voie sèche.

<u>Remarques</u> :

. **Le modèle ne prend pas compte la dimension des barreaux si l'ouverture de la grille n'est pas carrée.**

. **Ce modèle ne peut être utlisé que pour un crible dont l'ouverture est superieure à 1 mm.**

CALIBRAGE DU MODELE

Ce modèle contient 3 paramètres d'ajustement : le d50 réduit, l'imperfection de la courbe de partage et le soutirage.

HYDROCYCLONE:

CLASSIFICATEUR PARFAIT

PARAMETRES QUE VOUS DEVEZ SPECIFIER (Option 4)

Paramètres	Valeurs par défaut
Dimension de coupure (mm)	0.1
Pourcentage de solides dans le flux grossier (%)	10.0

THEORIE

Ce modèle est basé sur une coupure parfaite à une dimension donnée. Le partage de l'eau est donné par l'utilisateur.

CALIBRAGE DU MODELE

Ce modèle n'a pas de paramètres d'ajustement.

HYDROCYCLONE:

CYCLONE NIVEAU OA

PARAMETRES QUE VOUS DEVEZ SPECIFIER (Option 4)

Paramètres	Valeurs par défaut
Soutirage de la loi de DEGOUL (%)	25.0
d50 réduit de la loi de DEGOUL (mm)	0.07
Imperfection de la courbe de partage réduite (fraction)	0.3

THEORIE

. Ce modèle utilise une loi de Degoul pour représenter la courbe de partage qui est donc de la forme :

$$Y = H + (1 - H)\ (X^M/(X^M + A^M))$$

où X est la taille moyenne des particules d'une classe granulométrique,
Y la fraction de la classe passant dans les refus,
H le soutirage,
A le d_{50} corrigé,
M le paramètre caractérisant l'acuité de la séparation et appelé "pente". Il est lié à l'imperfection par la relation :

$$M = \log(3)/\log\ (I + \sqrt{(I^2 + 1)})$$

où I est l'imperfection $I = \dfrac{d_{75c} - d_{25c}}{2d_{50c}}$

et d_{75c} et d_{25c} : d_{75} et d_{25} corrigés.

CALIBRAGE DU MODELE

Les trois paramètres visibles doivent être calibrés à l'aide de l'option 12.

On peut visualiser la courbe de partage par l'option 22 et estimer ainsi le soutirage.

On calibre ensuite en même temps le d_{50} corrigé de la loi de Degoul et l'imperfection. Puis on affine enfin l'estimation du soutirage.

HYDROCYCLONE:

CYCLONE NIVEAU OB

PARAMETRES QUE VOUS DEVEZ SPECIFIER (Option 4)

Paramètres	Valeurs par défaut
Soutirage de la loi de Degoul (%)	25.0
d80 (mm) en sortie pour le flux fin	0.07
Imperfection de la courbe de partage réduite (fraction)	0.3

THEORIE

Comme le cyclone niveau OA, ce modèle utilise une loi de Degoul pour représenter la courbe de partage. Cependant, le d50 corrigé n'est pas connu. On a recours à une procédure itérative décrite ci-dessous :

Première estimation : d50 corrigé = d80 du flux fin

↓

Calcul de l'efficacité de partage

↓

Calcul des sorties

↓

Calcul du d80 du flux fin : d80s

↓

Si $\frac{d80s - d80}{d80} < \epsilon$, fin du modèle

↓

Sinon, ajustement du d50 : $d50r = d50r \times \left(1 + \frac{d80 - d80s}{d80}\right)$

avec :

d50r : d50 réduit

d80s : d80 du flux fin

CALIBRAGE DU MODELE

La procédure est identique au cyclone niveau OA. La meilleure façon de calibrer le d80 du flux fin est cependant de visualiser la distribution granulométrique du flux fin par l'option 21.

<u>Remarque</u> :

- **Lors de la conception préliminaire de circuits de broyage, le d80 du flux fin définit une performance du circuit. L'utilisation de ce modèle facilitera cette conception.**

HYDROCYCLONE:

CYCLONE NIVEAU 1

PARAMETRES QUE VOUS DEVEZ SPECIFIER (Option 4)

Paramètres	Valeurs par défaut
Nombre d'hydrocyclones en parallèle	1.
Diamètre du cyclone DC (m)	0.46
Rapport distance buse de surverse-buse de souverse/DC	3.00
Rapport diamètre de la buse d'alimentation/DC	0.25
Rapport diamètre de la buse de surverse/DC	0.30
Rapport diamètre de la buse de souverse/DC	0.18

THEORIE

. Modèle dérivé des relations empiriques établies par PLITT (PLITT L.R.: A mathematical model of the hydrocyclone classifier, CIM Bull., Dec. 1976).

. Pour chacun des types de particules constituant le minerai, le modèle calcule sa courbe de partage (d_{50}, soutirage, acuité) à partir des caractéristiques du cyclone (diamètre, diamètre des buses, distance surverse-souverse, et de celles de l'alimentation (concentration solide, débit, granulométrie, densité des types de particules,...).

. Modèle concernant exclusivement les cyclones classificateurs (avec décharge de la souverse "en parapluie"). Par conséquent, il ne doit pas être utilisé pour représenter un cyclone épaississeur (décharge de la souverse "en boudin").

<u>Remarque sur l'utilisation pratique du modèle en simulation</u> :

. **Les performances des cyclones classificateurs étant très sensibles à la concentration en solide de l'alimentation, il est conseillé de faire précéder cet appareil par un régulateur de densité (ou volumique) lors du tracé de flowsheet.**

CALIBRAGE DU MODELE

Le modèle a 3 paramètres d'ajustement: le d_{50}, l'imperfection.

HYDROCYCLONE:

CYCLONE NIVEAU 2

PARAMETRES QUE VOUS DEVEZ SPECIFIER (Option 4)

Paramètres	Valeurs par défaut
Nombre d'hydrocyclones en parallèle	1.
Diamètre du cyclone DC (m)	0.46
Rapport distance buse de surverse-buse de souverse/DC	3.00
Rapport diamètre de la buse d'alimentation/DC	0.25
Rapport diamètre de la buse de surverse/DC	0.30
Rapport diamètre de la buse de souverse/DC	0.18

THEORIE

. Modèle dérivé des relations empiriques établies par PLITT (PLITT L.R.: A mathematical model of the hydrocyclone classifier, CIM Bull., Dec. 1976). Il a été modifié en 1990 par L.R. PLITT.

. Pour chacun des types de particules constituant le minerai, le modèle calcule sa courbe de partage (d_{50}, soutirage, acuité) à partir des caractéristiques du cyclone (diamètre, diamètre des buses, distance surverse-souverse, et de celles de l'alimentation (concentration solide, débit, granulométrie, densité des types de particules,...).

<u>Remarques</u> :

. **Ce modele est capable de simuler les performances d'un hydrocyclone quelque soit le type de décharge de la souverse (décharge "en parapluie" ou "en boudin").**

. **Les performances des cyclones classificateurs étant très sensibles à la concentration solide de l'alimentation, il est conseillé de faire précéder cet appareil par un régulateur de densité lors du tracé du flowsheet.**

CALIBRAGE DU MODELE

Le modèle contient 3 paramétres d'ajustement : le d50, l'imperfection de la séparation, le soutirage.

Le paramètre de limite de boudinage (le dernier paramètre d'ajustement) qui permet d'ajuster le % solide volumique pour lequel le boudinage apparait, peut aussi être ajusté en modifiant le fichier "paramètres" (.PAR).

- ANNEXE 6 -

DESCRIPTION DETAILLEE DES ALGORITHMES MATHEMATIQUES UTILISES DANS LE SIMULATEUR POUR REPRESENTER LES OPERATIONS UNITAIRES DE L'ATELIER DELAYAGE

E.I.2 - MODELE DE REGULATEUR DE CONCENTRATION SOLIDE: REGU

- Modèle de régulateur de concentration en solide.

- 1 paramètre visible: 1: concentration solide du flux de sortie, exprimée en %.
- Pas de paramètre caché.

- Nombre de flux de sortie: 2: 1 flux de pulpe et 1 flux d'eau.

Ce modèle règle le débit du flux d'eau sortant du régulateur pour ajuster la concentration en solide du flux de pulpe sortant de ce même appareil à la valeur fournie par l'utilisateur.

Attention:
Cette régulation fait intervenir des calculs dans la structure même du logiciel **USIM PAC**, en dehors des sous-programmes contenant les modèles. Le numéro d'appel de ce sous-programme REGU (numéro: 1) dans **APPELMOD.FOR** (cf. partie F: guide de programmation) ne doit pas être modifié ou attribué à un autre modèle.

Remarque:
Si la concentration solide de l'alimentation est inférieure à celle spécifiée par l'utilisateur (pulpe plus diluée en alimentation) alors le débit du flux d'eau en sortie du régulateur est négatif, ce qui revient à un épaississement de la pulpe.

Il est conseillé d'utiliser ce modèle lorsque, dans un circuit simulé on a des modèles d'appareils sensibles à la concentration solide d'alimentation ou au débit de pulpe, comme par exemple le modèle de cyclone de niveau 1.

Ce modèle peut représenter une régulation automatisée existant dans l'atelier ou le rôle de l'opérateur qui, au cours de son poste, modifie des réglages de vannes d'alimentation en eau afin de respecter des points de consigne.

E.I.3 - MODELE DE REGULATEUR DE DEBIT VOLUMIQUE: REGV

- Modèle de régulateur de débit volumique.

- 1 paramètre visible: 1: débit volumique du flux de sortie, exprimé en m^3/h.

- Pas de paramètre caché.

- Nombre de flux de sortie: 2: 1 flux de pulpe et 1 flux d'eau.

Ce modèle règle le débit d'eau sortant du régulateur pour ajuster le débit volumique du flux de pulpe sortant de ce même appareil à la valeur fournie par l'utilisateur.

Attention:
Cette régulation fait intervenir des calculs dans la structure même du logiciel **USIM PAC**, en dehors des sous-programmes contenant les modèles. Le numéro d'appel de ce sous-programme REGV (numéro: 3) dans **APPELMOD.FOR** (cf. partie F: guide de programmation) ne doit pas être modifié ou attribué à un autre modèle.

Remarque:
Si le débit volumique de l'alimentation est supérieur à celui spécifié par l'utilisateur, alors le débit du flux d'eau en sortie du régulateur est négatif, ce qui revient à un épaississement de la pulpe.

E.I.7 - MODELE D'HYDROCYCLONE, SELON UNE LOI DE DEGOUL: HYDR

- Modèle d'hydrocyclone selon une loi de Degoul.

La théorie de ce modèle est identique à **CLAS** (cf. § E.I.6), la seule différence résidant dans la position géométrique des sorties: **CLAS** est utilisé pour des appareils tels que les cribles pour lesquels les produits grossiers sortent dans la partie haute de l'appareil alors que les produits fins sortent vers le bas de l'appareil.

HYDR est utilisé pour des appareils tels que les cyclones pour lesquels les produits grossiers sortent vers le bas de l'appareil.

Ainsi, le sous-programme **HYDR** effectue une permutation des sorties avant d'appeler le modèle **CLAS**.

E.I.14 - MODELE DE CLASSIFICATEUR PARFAIT UTILISE POUR LES CRIBLES ET LE CLASSIFICATEUR A VIS: CLPO

- Modèle de classificateur parfait utilisé pour les cribles et le classificateur à vis.

- 2 paramètres visibles: 1: dimension de coupure (mm)
  2: pourcentage de solides dans les grossiers.

- pas de paramètre caché.

Ce modèle est utilisé pour simuler une classification parfaite sans soutirage ni imperfection. Le partage de l'eau est donné par le pourcentage de solides dans les grossiers.

E.I.17 - MODELE DE CLASSIFICATEUR GRANULOMETRIQUE, UTILISANT UNE LOI DE DEGOUL: CL80

- Modèle de classificateur granulométrique, utilisant une loi de Degoul.

- 3 paramètres visibles: 1: soutirage de la loi de Degoul (%)
  2: d80 du flux de sortie de produit fin (mm)
  3: imperfection de la courbe de partage réduite (fraction):
  $I = d75_r - d25_r/2 \times d50_r$

- pas de paramètre caché

- 2 flux de sortie.

Comme pour le modèle de crible de niveau 0A, ce modèle utilise une loi de Degoul pour représente la courbe de partage.

$$Y(X) = H + (1 - H)\ X^m/(X^m + d50_r{}^m)$$

Le calcul du $d50_r$ est réalisé par une méthode itérative. En première estimation $d50_r$ est égal à d80 donné (2ème paramètre). Cette valeur est utilisée pour calculer l'efficacité du partage Y(X) pour chaque classe granulométrique. Le calcul des flux de sortie est réalisé pour chaque classe par:

- flux de sortie grossier(X) = Y(X) flux d'entrée(X)
- flux de sortie fin(X) = flux d'entrée(X) - flux de sortie grossier(X)

Le d80 du flux fin est ensuite calculé et le $d50_r$ est corrigé proportionnellement à l'erreur relative
[(d80 donné - d80 calculé)/d80 donné]
jusqu'à ce que cette erreur soit inférieure à 0,1 %.

Ce modèle est utilisé pour des cribles vibrants, des grilles courbes ou planes et des classificateurs à vis.

E.II.1 - MODELE D'HYDROCYCLONE: HYD1

- Modèle d'hydrocyclone

- 6 paramètres visibles:
  1: nombre de cyclones en parallèle
  2: diamètre du cyclone en mètres
  3: rapport distance entre les buses de souverse et de surverse/diamètre du cyclone
  4: rapport diamètre de la buse d'alimentation/diamètre du cyclone
  5: rapport diamètre de la buse de surverse/diamètre du cyclone
  6: rapport diamètre de la buse de souverse/diamètre du cyclone

- 3 paramètres cachés:
  7: ajustement du d50 réduit
  8: ajustement de l'imperfection de la courbe de partage
  9: ajustement du soutirage

- nombre de flux de sortie: 2.

Théorie

Ce modèle a pour base les équations empiriques établies par L. R. PLITT (L.R. PLITT, "A mathematical model of the hydrocyclone classifier" , CIM Bull., déc. 1976) à la suite d'un abondant travail expérimental. PLITT considère que la courbe de partage granulométrique réduite représentant la classification effectuée par un hydrocyclone correspond à une équation de type Rosin Rammler:

$$Y_r(d) = 1 - \exp(-0{,}693(d/d50_r)^m)$$

où:

- d est la taille des particules
- $Y_r(d)$ est la fraction de la population de particules de taille d passant dans la surverse du cyclone, compte non tenu du soutirage
- $d50_r$ est le d50 réduit
- m est le paramètre caractérisant l'acuité de la séparation et appelé habituellement "pente".

Remarque:

La pente de Rosin-Rammler "m" est équivalente à 0.7 fois la pente utilisée dans l'équation de Degoul (cf. E.I.6 - Le modèle CLAS) et est reliée à l'imperfection par:

$$I = 0{,}5 \times (2^{1/m} - 0.415^{1/m})$$

qui est approché par $I \simeq 0.77/m$.

Quatre équations empiriques de base caractérisent directement ou indirectement les paramètres de la courbe de partage réduite et le soutirage en fonction des paramètres géométriques d'un cyclone et des caractéristiques de l'alimentation de celui-ci:

$$d50r_i = \frac{52,5\ D^{0,46}\ D_A^{0,6}\ D_O^{1,21}\ e^{0,063PHI}}{D_U^{0,71}\ H^{0,38}\ Q_V^{0,45}\ (\rho_i - \rho)^{0,5}}$$

$$P = \frac{1,88\ Q_V^{1,78}\ e^{0,0055PHI}}{D^{0,37}\ D_A^{0,94}\ H^{0,28}\ (D_U^2 + D_O^2)^{0,87}}$$

$$m = 1,93 \exp\left[-1,58\ R_V\right]\ (D^2H/Q_V)^{0,15}$$

$$S = \frac{1,9\ (D_U/D_O)^{3,31}\ H^{0,54}\ (D_U^2 + D_O^2)^{0,36}\ e^{0,0054PHI}}{Pm^{0,24}\ D^{1,11}}$$

où:

- D : diamètre interne du cyclone (cm)
- D_A : diamètre de la buse d'alimentation (cm)
- D_O : diamètre de la buse de surverse (cm)
- D_U : diamètre de la buse de souverse (cm)
- H : distance buse de surverse-buse de souverse (cm)
- PHI : pourcentage volumique de solide dans la pulpe en alimentation du cyclone
- Q_V : débit volumique de la pulpe en alimentation (l/mn)
- ρ_i : densité du type de particule i
- ρ : densité du liquide (prise égale à 1 dans le modèle)
- R_V : fraction du débit volumique d'alimentation passant dans la souverse
- P : chute de pression dans le cyclone (kiloPascal)
- Pm : P exprimée en mètre de hauteur de pulpe
- S : rapport entre le débit volumique en souverse et celui en surverse.

Structure et utilisation du modèle

La structure du modèle est présentée à la figure suivante.

Remarques:

- **Pour chaque type de particule i le modèle calcule un d50 réduit ($d50r_i$) en tenant compte de la densité propre à ce type de particule (ρ_i). Cela reproduit la différence de coupure granulométrique entre minéraux que l'on observe au sein d'un minerai lorsque celui-ci est composé de minéraux de densités différentes.**

- **Un calcul de chute de la pression est effectué à l'intérieur du modèle. La valeur obtenue est écrite dans le fichier FICHIER.FON lorsque la simulation converge.**

Ce modèle reproduit avec une bonne précision le fonctionnement d'hydrocyclones ayant une pression d'alimentation moyenne à forte et une concentration solide d'alimentation inférieure à 30 %, même lorsque le modèle est utilisé sans calibrage (avec des valeurs par défaut de 1 pour les 3 paramètres d'ajustement). Par contre, lorsqu'il s'agit de simuler un cyclone ayant une forte concentration solide d'alimentation (cyclone dans un circuit de broyage, typiquement), le calibrage est absolument nécessaire.

Le modèle concerne exclusivement les cyclones classificateurs, avec décharge de la souverse en "parapluie". Il ne doit pas être utilisé pour modéliser un cyclone épaississeur (décharge de la souverse en "boudin"). Si, au cours d'une simulation, les conditions de fonctionnement du cyclone conduisent à un boudinage de la souverse lorsque la convergence du calcul du simulateur est atteinte, un message d'avertissement apparaît et s'écrit dans le fichier **FICHIER.FON**. Les résultats de la simulation du cyclone doivent alors être considérés avec beaucoup de suspicion et il est fortement conseillé d'utiliser le modèle d'hydrocyclone de niveau 2: **HYD2.**

MODELE DE MINERAI
Minéralogie
Types de particules
Densités: $dens_i$

INITIALISATION
Débits QL,QS
Granulométrie: Ga_i

CARACTERISTIQUES DES APPAREILS

Paramètres visibles

Nombre d'hydrocyclone en parallèle: NB
Diamètre du cyclone: D
Rapport distance buse de surverse-buse de souverse/D: XHD
Rapport diamètre de la buse d'alimentation/D: XAD
Rapport diamètre de la buse de surverse/D: XOD
Rapport diamètre de souverse/D: XUD

Paramètres cachés

Ajustement

Fraction volumique du solide:PHI
Densité de la pulpe: ρ_P
Débit volumique: Q_V

* du d50: Cd50

Chute de pression

P=f (Q,PHI,D,XHD,XAD,XOD,XUD)

* de l'imperfection CI

Coefficients de la courbe de partage réduite:

$d50r_i = f(Q_V, PHI, XHD, XAD, XOD, XUD).\ Cd50$
$m = f(Q_V, PHI, XHD, XAD, XOD, XUD).\ CI$

Calcul du partage du solide à partir de la courbe réduite:

$Y = 1 - \exp[0,693.(d/d50r_i)^m]$

* du soutirage Cs

Calcul du soutirage:

$S = f(Y, PHI, D, XHD, XAD, XOD, XUD, P, ...).\ Cs$

Ajout du soutirage au partage:
calcul des sorties pour | *les solides*
| *l'eau*

Contrôle de boudinage de la souverse

MODELE D'HYDROCYCLONE DE NIVEAU 1: HYD1

E.III.6 - MODELE D'HYDROCYCLONE: HYD2

- Modèle d'hydrocyclone.

- 6 paramètres visibles:
  1: nombre d'hydrocyclones en parallèle
  2: diamètre de l'hydrocyclone DC (m)
  3: rapport distance buse de surverse-buse de sousverse/DC
  4: rapport diamètre de la buse d'alimentation/DC
  5: rapport diamètre de la buse de surverse/DC
  6: rapport diamètre de la buse de sousverse/DC

- 4 paramètres cachés:
  7: ajustement du d50r
  8: ajustement de l'imperfection de la courbe de partage
  9: ajustement du soutirage
  10: ajustement de la limite de boudinage.

- Nombre de flux de sortie: 2.

Théorie

Ce modèle a pour base les équations empiriques établies par L.R. PLITT (L.R. PLITT, "A mathematical model of the hydrocyclone classifier", CIM Bull., Dec. 1976) à la suite d'un abondant travail expérimental. PLITT considère que la courbe de partage réduite représentant la classification effectuée par un hydrocyclone correspond à une équation de type Rosin-Rammler:

$$Y_r(d) = 1 - \exp\left[-0.693\ (d/d50r)^m\right]$$

où:

d : taille des particules
$Y_r(d)$: fraction de la population de particules de taille d passant dans la surverse du cyclone, compte non tenu du soutirage
d50r : d50 réduit
m : paramètre caractérisant l'acuité de la séparation et appelé habituellement "pente".

Remarque:
La pente de Rosin-Rammler "m" est équivalente à 0,7 fois la pente utilisée dans l'équation de Degoul (cf. E.I.6 - Le modèle CLAS) et est reliée à l'imperfection par:

$$I = 0{,}5 \times (2^{1/m} - 0{,}415^{1/m}) \text{ qui est approché par } I \sim 0{,}77/m.$$

Quatre équations empiriques de base caractérisent directement ou indirectement les paramètres de la courbe de partage réduite et le soutirage en fonction des paramètres géométriques d'un cyclone et des caractéristiques de l'alimentation de celui-ci:

$$d50r_i = \frac{52,5\ D^{0,46}\ D_A^{0,6}\ D_O^{1,21}\ e^{0,063PHI}}{D_U^{0,71}\ H^{0,38}\ Q_V^{0,45}\ (\rho_i - \rho)^{0,5}}$$

$$P = \frac{1,88\ Q_V^{1,78}\ e^{0,0055PHI}}{D^{0,37}\ D_A^{0,94}\ H^{0,28}\ (D_U^2 + D_O^2)^{0,87}}$$

$$m = 1,93 \exp\ [-1,58\ R_V]\ (D^2H/Q_V)^{0,15}$$

$$S = \frac{1,9\ (D_U/D_O)^{3,31}\ H^{0,54}\ (D_U^2 + D_O^2)^{0,36}\ e^{0,0054PHI}}{Pm^{0,24}\ D^{1,11}}$$

où:

- D : diamètre interne du cyclone (cm)
- D_A : diamètre de la buse d'alimentation (cm)
- D_O : diamètre de la buse de surverse (cm)
- D_U : diamètre de la buse de souverse (cm)
- H : distance buse de surverse-buse de souverse (cm)
- PHI : pourcentage volumique de solide dans la pulpe en alimentation du cyclone
- Q_V : débit volumique de la pulpe en alimentation (l/mn)
- ρ_i : densité du type de particule i
- ρ : densité du liquide (prise égale à 1 dans le modèle)
- R_V : fraction du débit volumique d'alimentation passant dans la souverse
- P : chute de pression dans le cyclone (kiloPascal)
- Pm : P exprimée en mètre de hauteur de pulpe
- S : rapport entre le débit volumique en souverse et celui en surverse.

Structure et utilisation du modèle

La structure du modèle est présentée à la figure suivante.

Remarques:

- **Pour chaque type de particule i le modèle calcule un d50 réduit ($d50r_i$) en tenant compte de la densité propre à ce type de particule (ρ_i). Cela reproduit la différence de coupure granulométrique entre minéraux que l'on observe au sein d'un minerai lorsque celui-ci est composé de minéraux de densités différentes.**

- **Un calcul de chute de la pression est effectué à l'intérieur du modèle. La valeur obtenue est écrite dans le fichier FICHIER.FON lorsque la simulation converge.**

- **Autres valeurs écrites dans FICHIER.FON:**

  - **d50r moyen**
  - **Imperfection**
  - **Rf: soutirage**
  - **Limite de boudinage en % solide par volume pour la souverse**
  - **Densité moyenne des solides de l'alimentation.**

Ce modèle simule le fonctionnement des hydrocyclones pour des pulpes minérales. Même quand le modèle est utilisé sans calibrage, c'est à dire en utilisant les valeurs par défaut de 1 pour les 4 paramètres de calibrage, les résultats sont généralement dans un intervalle de précision raisonnable.

Les 3 paramètres d'ajustement, qui peuvent être calibrés en utilisant l'option 12, multiplient respectivement le d50r, l'imperfection et le soutirage. Le 4ème paramètre (10) est pour l'ajustement du point auquel le boudinage apparaît et ne sera utilisé que pour le calibrage d'un cyclone épaississeur. Ce paramètre a aussi une valeur par défaut de 1 et ajuste la concentration en solide par volume de la souverse lors du boudinage.

Tous les paramètres de calibrage ont une valeur par défaut de 1.

MODELE DE MINERAI
Minéralogie
Types de particules
Densités: $dens_i$

INITIALISATION
Débits: QL,QS
Distribution granulométrique: Ga_i

CARACTERISTIQUES DES APPAREILS

Paramètres visibles

Nombre d'hydrocyclones en parallèle: NB
Diamètre de l'hydrocyclone: D
Rapport distance buse de surverse-buse de sousverse/DC: XHD
Rapport diamètre de la buse d'laimentation/DC : XAD
Rapport diamètre de la buse de surverse/DC : XOD
Rapport diamètre de la buse de sousverse/DC : XUD

Paramètres cachés

Ajustement

Fraction volumique solide:Phi
Densité de la pulpe:
Débit volumique: Q

* du d50 Cd50

Chute de pression:
P = f (Q,Phi,D,XHD,XAD,XOD,XUD)
Coefficients de la courbe de partage réduite:
$d50_i$ *= f (Q,Phi,XHD,XAD,XOD,XUD).Cd50*
m = f (Q,Phi,XHD,XAD,XOD,XUD).CI

* de l'imperfection CI

Calcul du partage solide
$Y = 1 - \exp [0,693 (d/d50_i)^m]$

Calcul du soutirage
S = f (Y,Phi,D,XHD,XAD,XOD,XUD,P,...).CS

* du soutirage CS

Ajout de la fraction de soutirage

Calcul des sorties | *solides* / *liquides*

Prédiction du boudinage et contrôle du partage solide

* de la limite de boudinage

MODELE D'HYDROCYCLONE NIVEAU 2: HYD2

- ANNEXE 7 -

CONFIGURATION DU LOGICIEL DE SIMULATION POUR L'ATELIER DE DELAYAGE:

* COURBES DE PARTAGE DES APPAREILS DE SEPARATIONS
* RAPPORT COMPLET DECRIVANT LES FLUX DU CIRCUIT (DEBITS, GRANULOMETRIES), ET LES CARACTERISTIQUES DES APPAREILS

Les pages de cette annexe représentent les résultats obtenus à partir des données d'un bilan complet de l'atelier (bilan réalisé annuellement en général).

Ces résultats comprennent:

* Le tracé du flowsheet réalisé à partir de l'éditeur graphique d'USIM PAC.

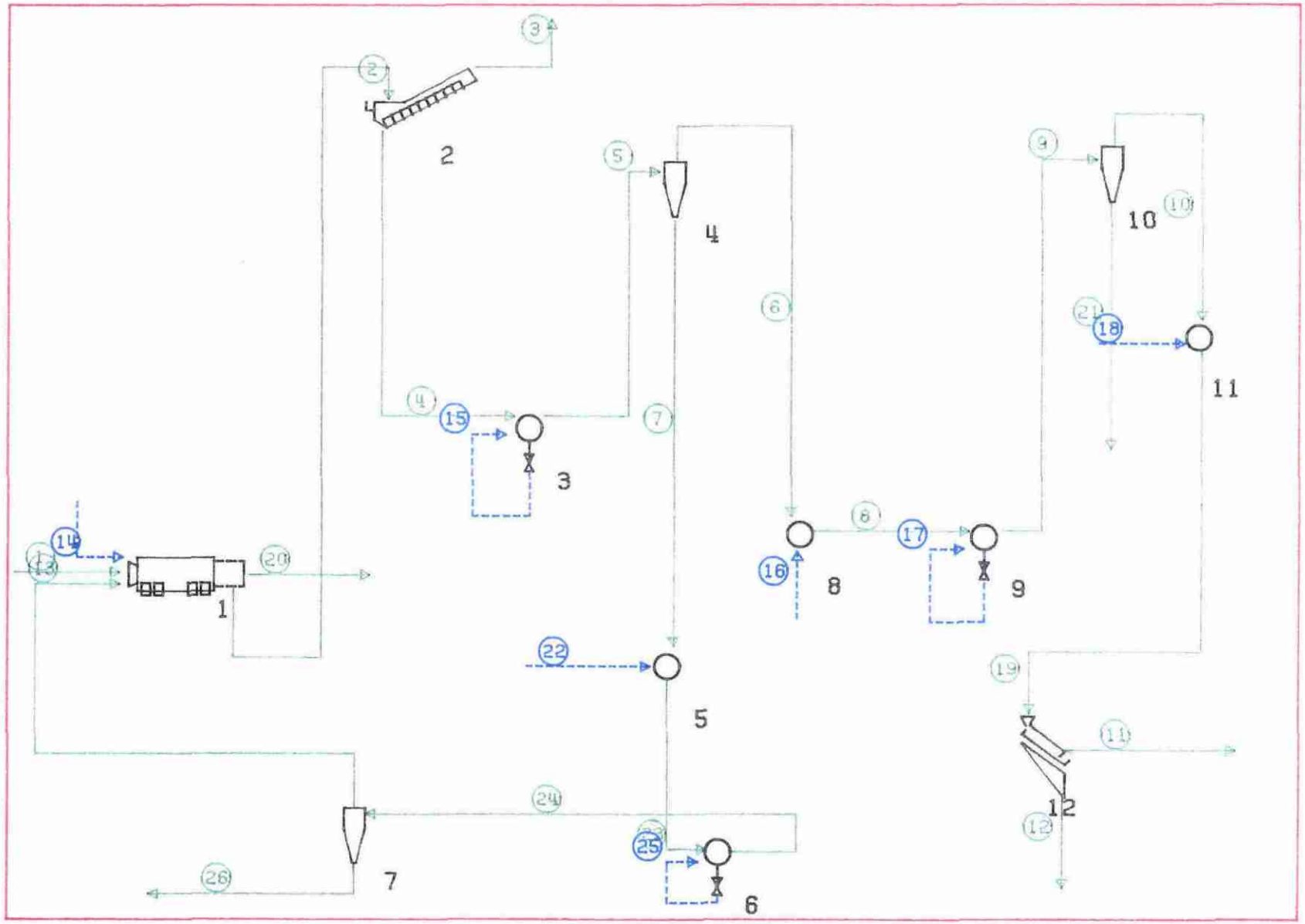
* Le tracé de distributions granulométriques pour certains flux du circuit. Ces courbes représentent les données expérimentales, les résultats d'un bilan matière cohérent et les résultats de la simulation finale. On retrouve une bonne reproduction des données par simulation.

* Le tracé des courbes de partages pour chaque appareil hormis le trommel. Là encore on retrouve une bonne reproduction des conditions expérimentales.

* Un rapport complet reprenant:

  - le détail du modèle de minerai
  - une synthèse des résultats
  - une description détaillée des résultats: pour chaque flux du circuit ils donnent les débits globaux (solide, liquide) et les distributions granulométriques
  - une description détaillée des flux initialisés pour la simulation finale
  - la description détaillée des appareils (dimensions)
  - le contenu du fichier de fonctionnement: ce fichier reprend les paramètres fondamentaux du fonctionnement des appareils du circuit.

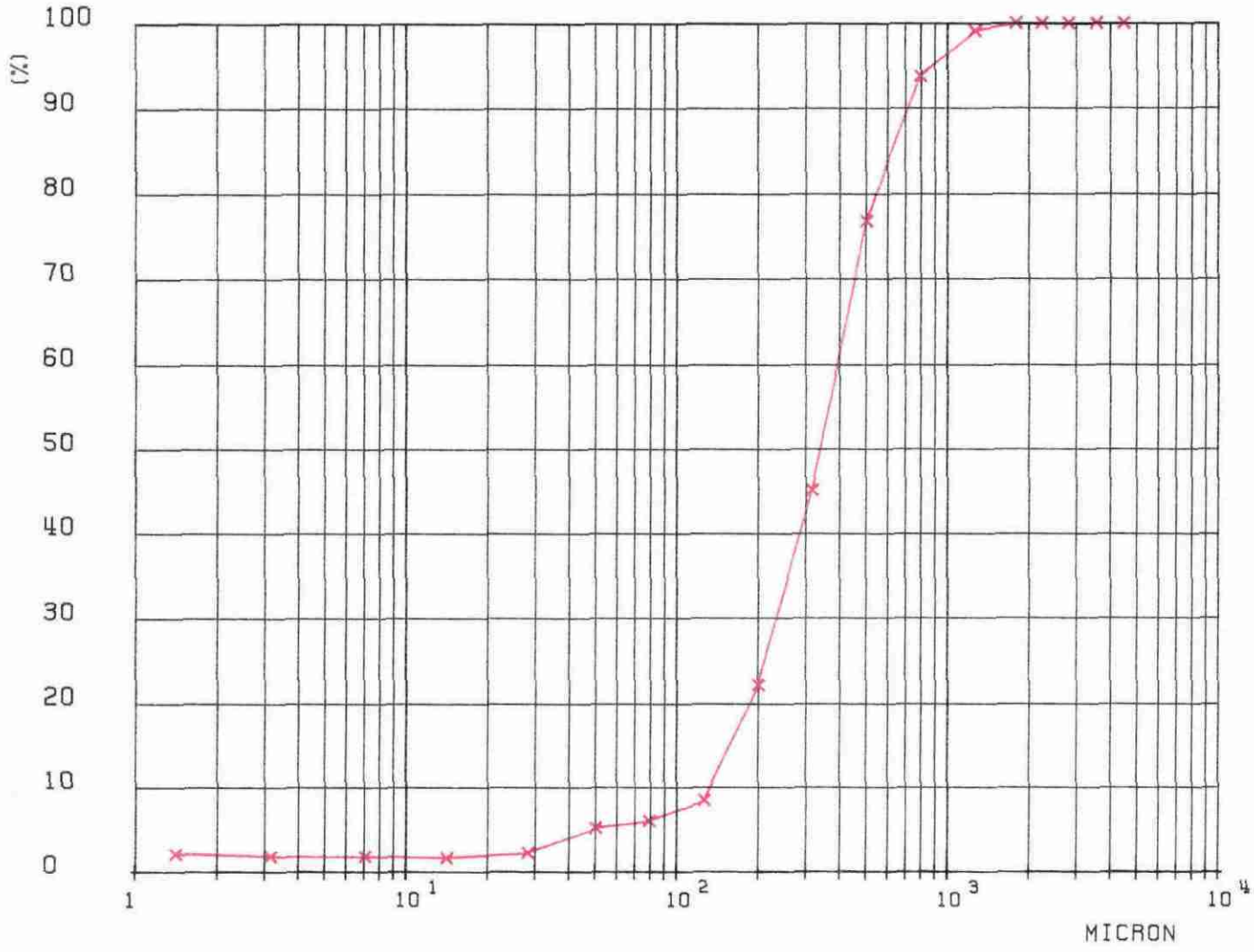
KAOLINS D'ARVOR: ATELIER DELAYAGE



USIM PAC

Logiciel BRGM

CLASSIFICATEUR A RATEAUX: DONNEES EXPERIMENTALES

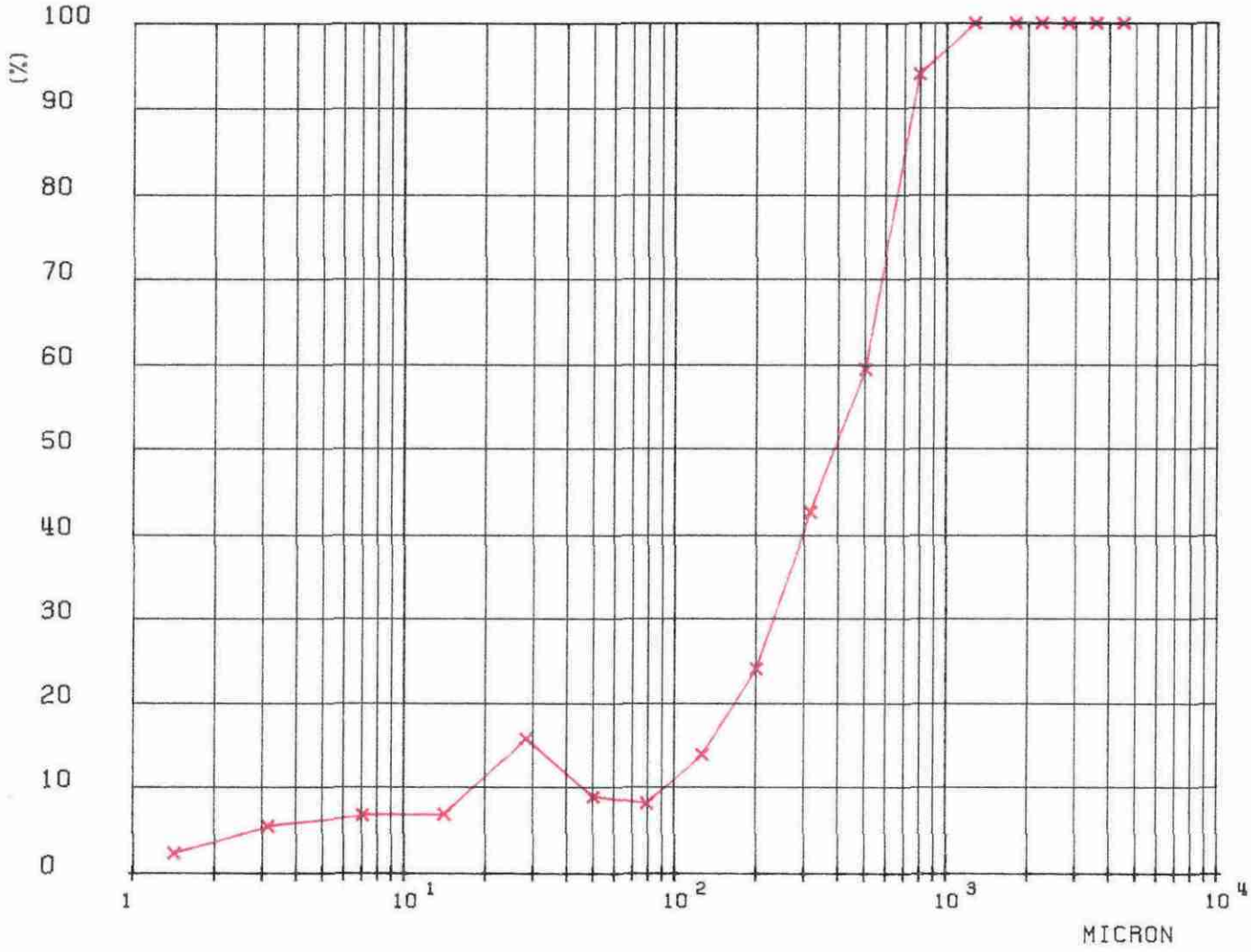


USIM PAC

COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

logiciel BRGM

CLASSIFICATEUR A RATEAUX: BILAN MATIERE COHERENT

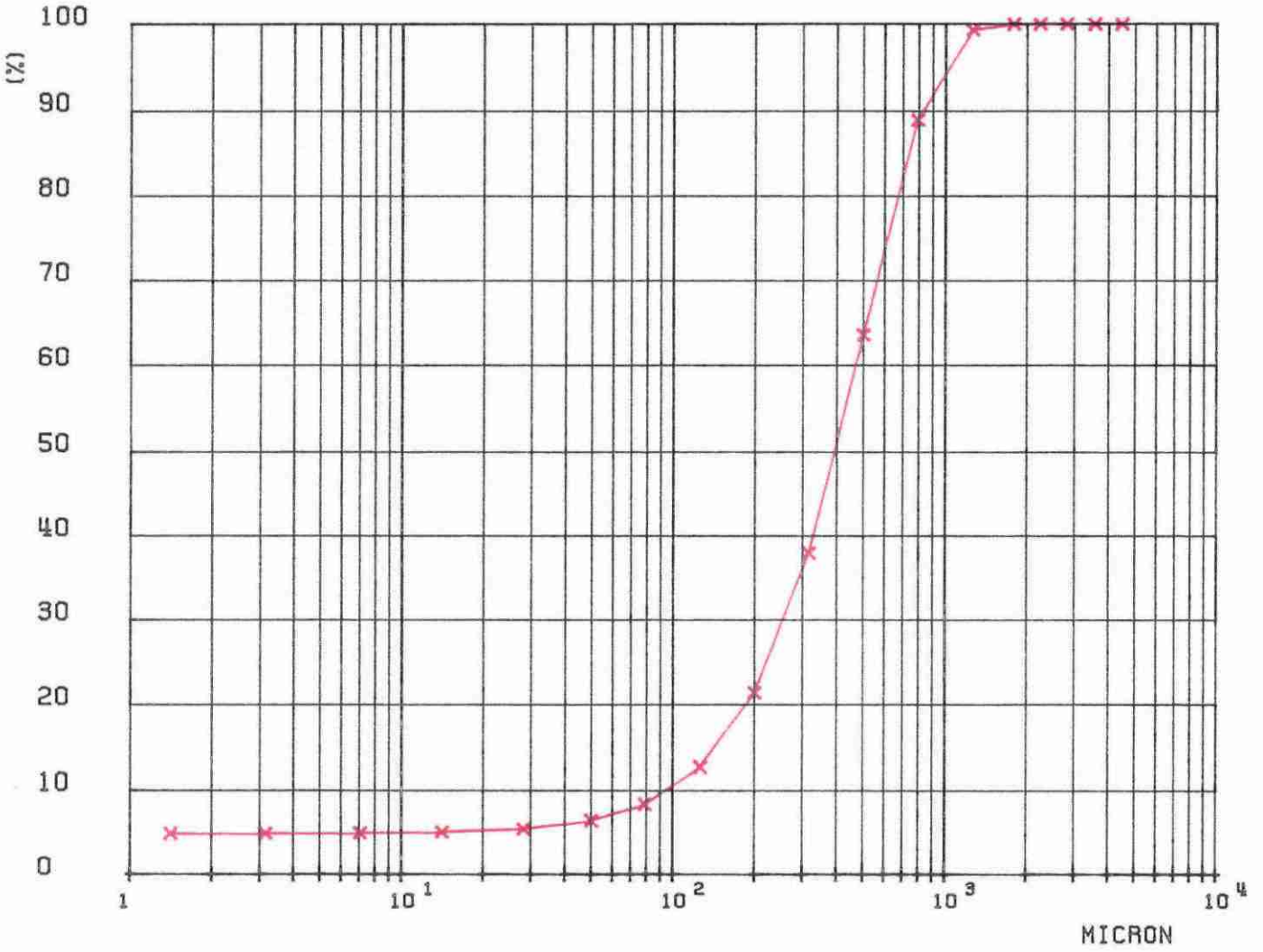


USIM PAC

COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

logiciel BRGM

CLASSIFICATEUR A RATEAUX: SIMULATION FINALE

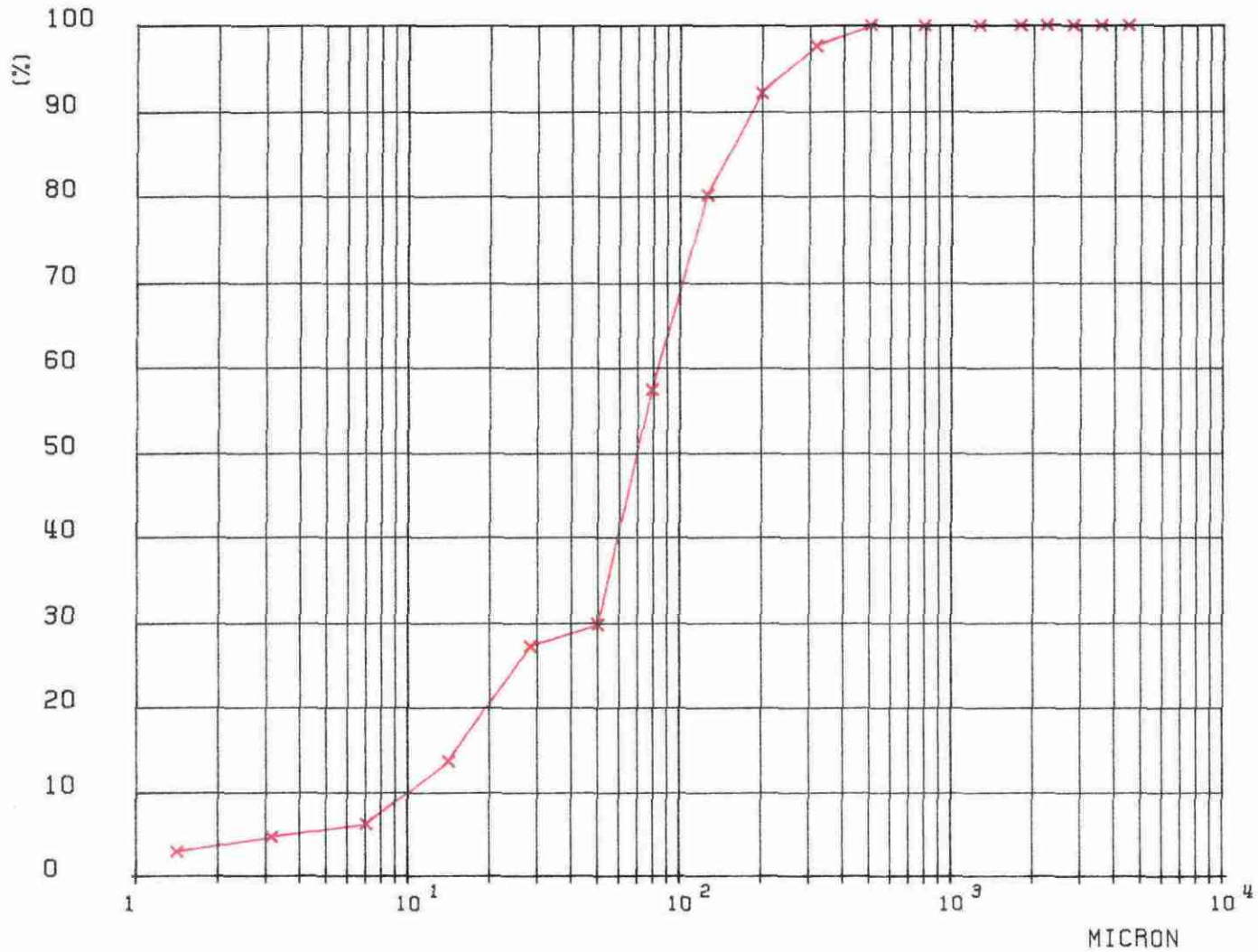


USIM PAC

COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

logiciel BRGM

CYCLONE PRIMAIRE: DONNEES EXPERIMENTALES

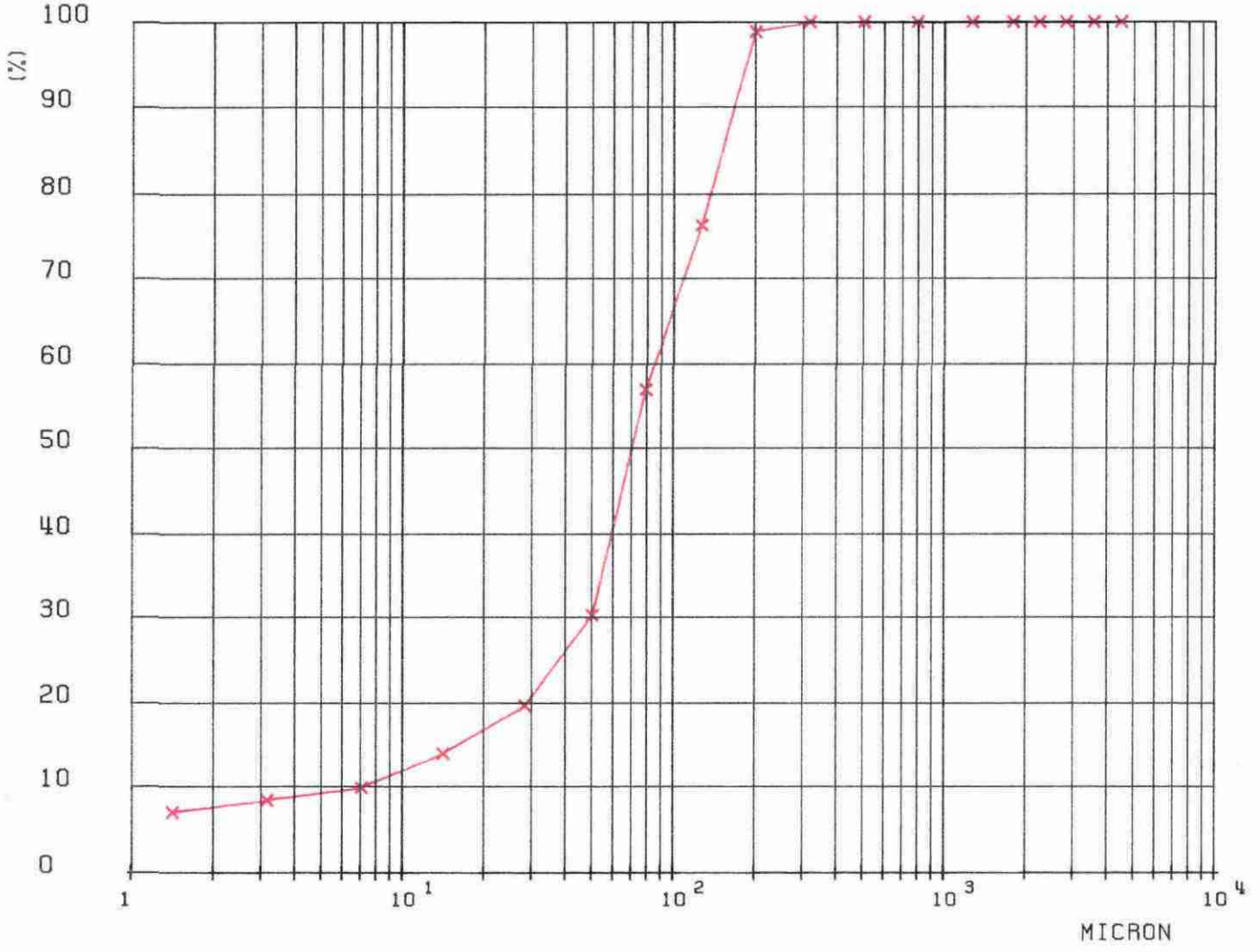


USIM PAC

—× COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

logiciel BRGM

CYCLONE PRIMAIRE: BILAN MATIERE COHERENT

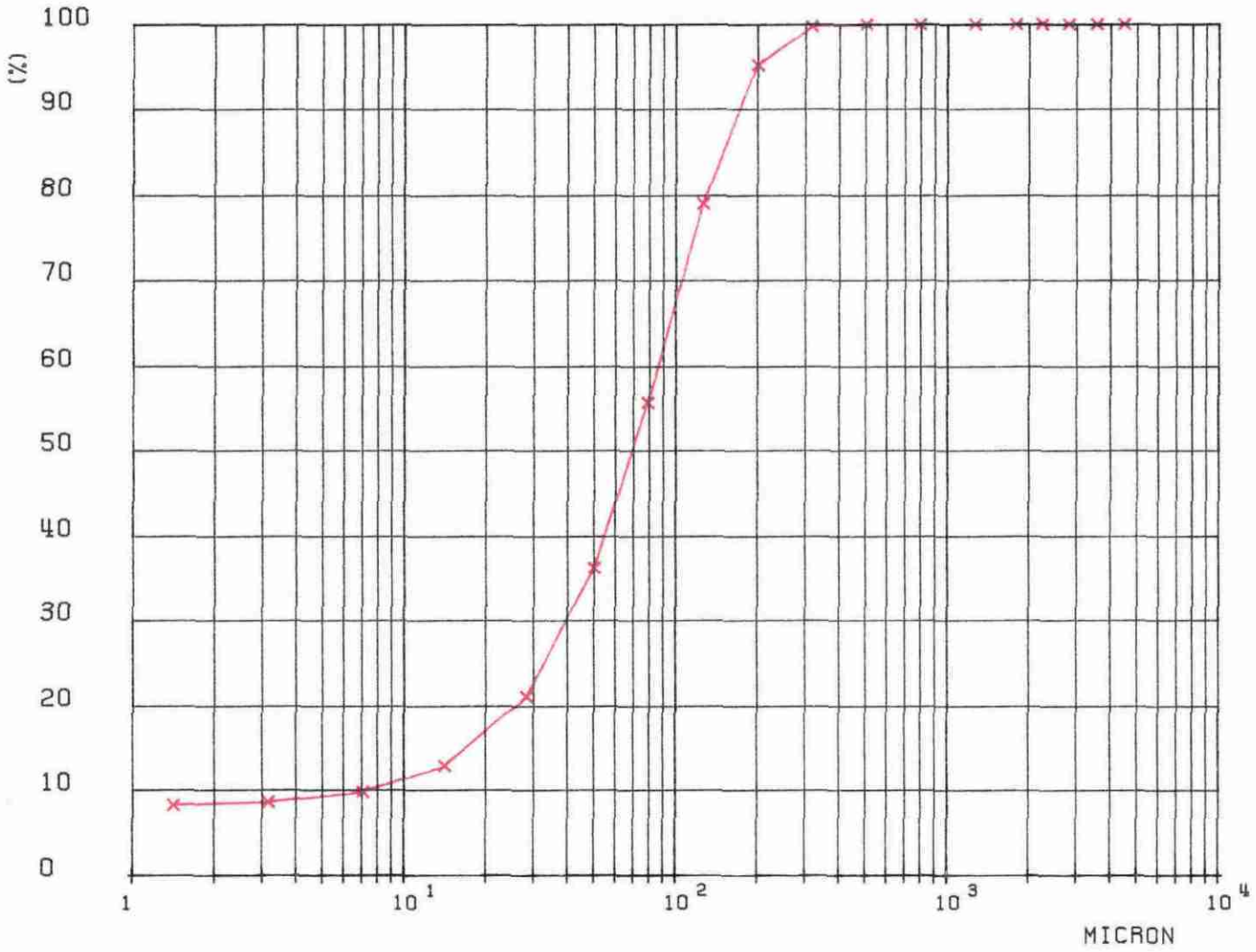


USIM PAC

COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

logiciel BRGM

CYCLONE PRIMAIRE: SIMULATION FINALE

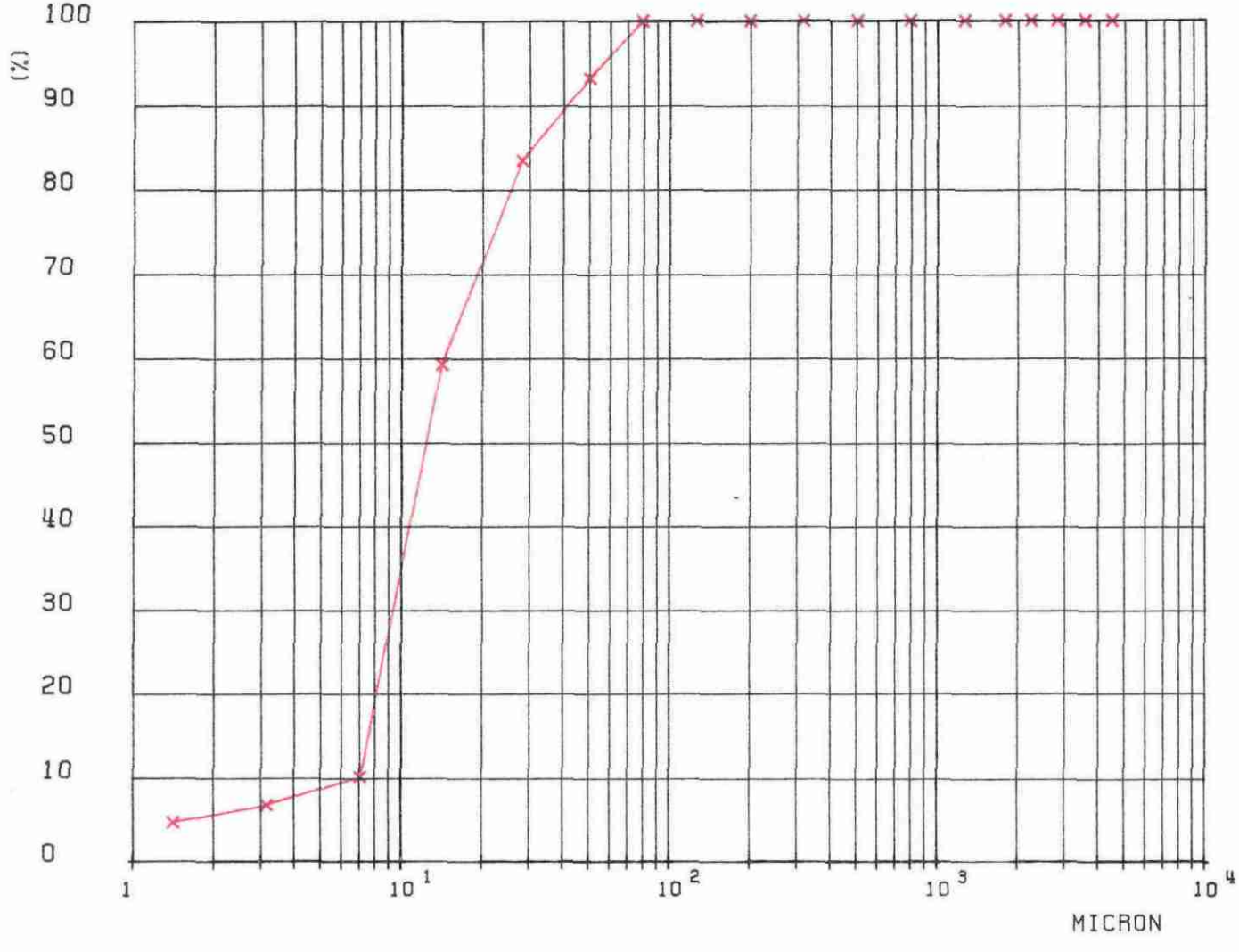


USIM PAC

COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

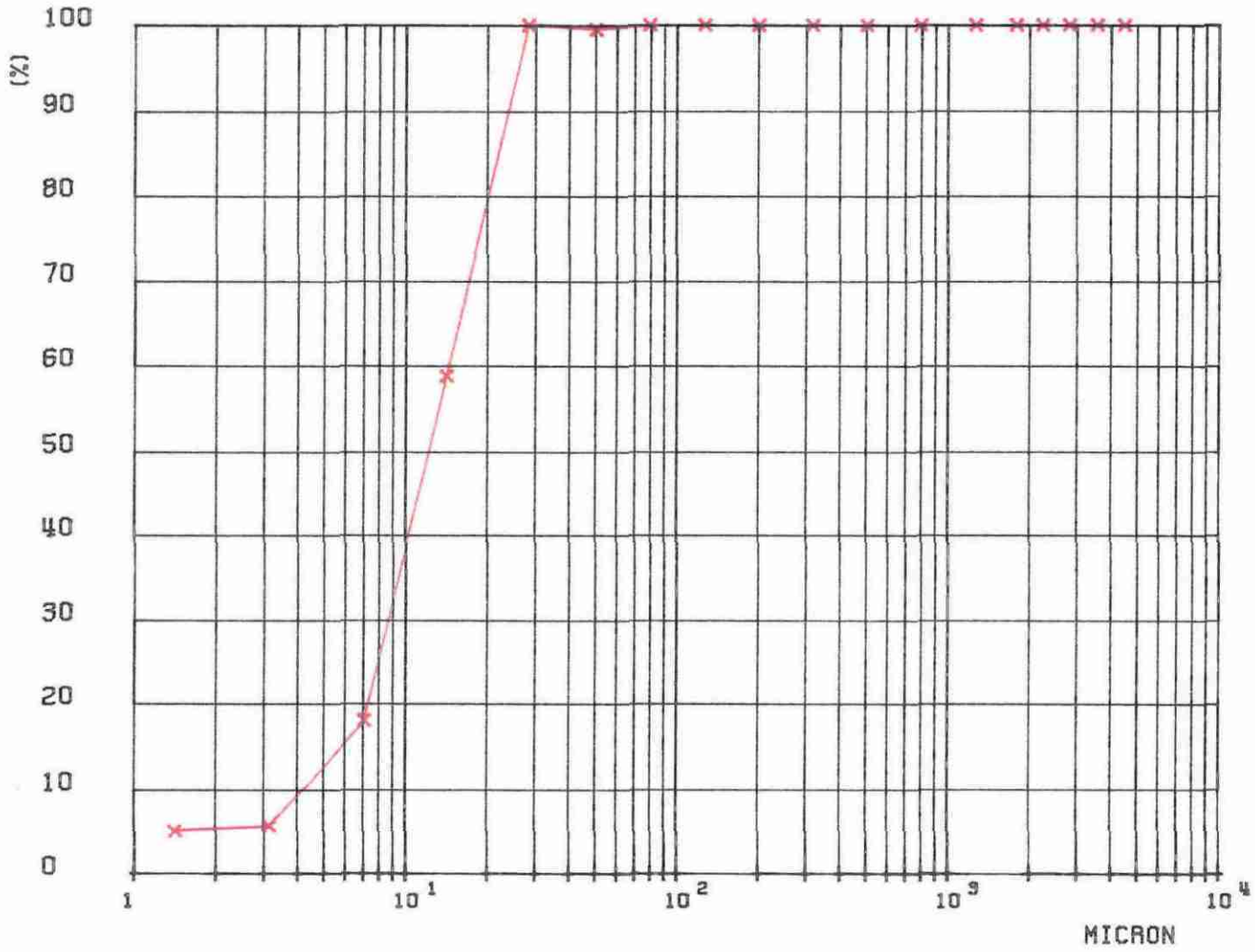
logiciel BRGM

CYCLONES SECONDAIRES: DONNEES EXPERIMENTALES



USIM PAC — COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL logiciel BRGM

CYCLONES SECONDAIRES: BILAN MATIERE COHERENT

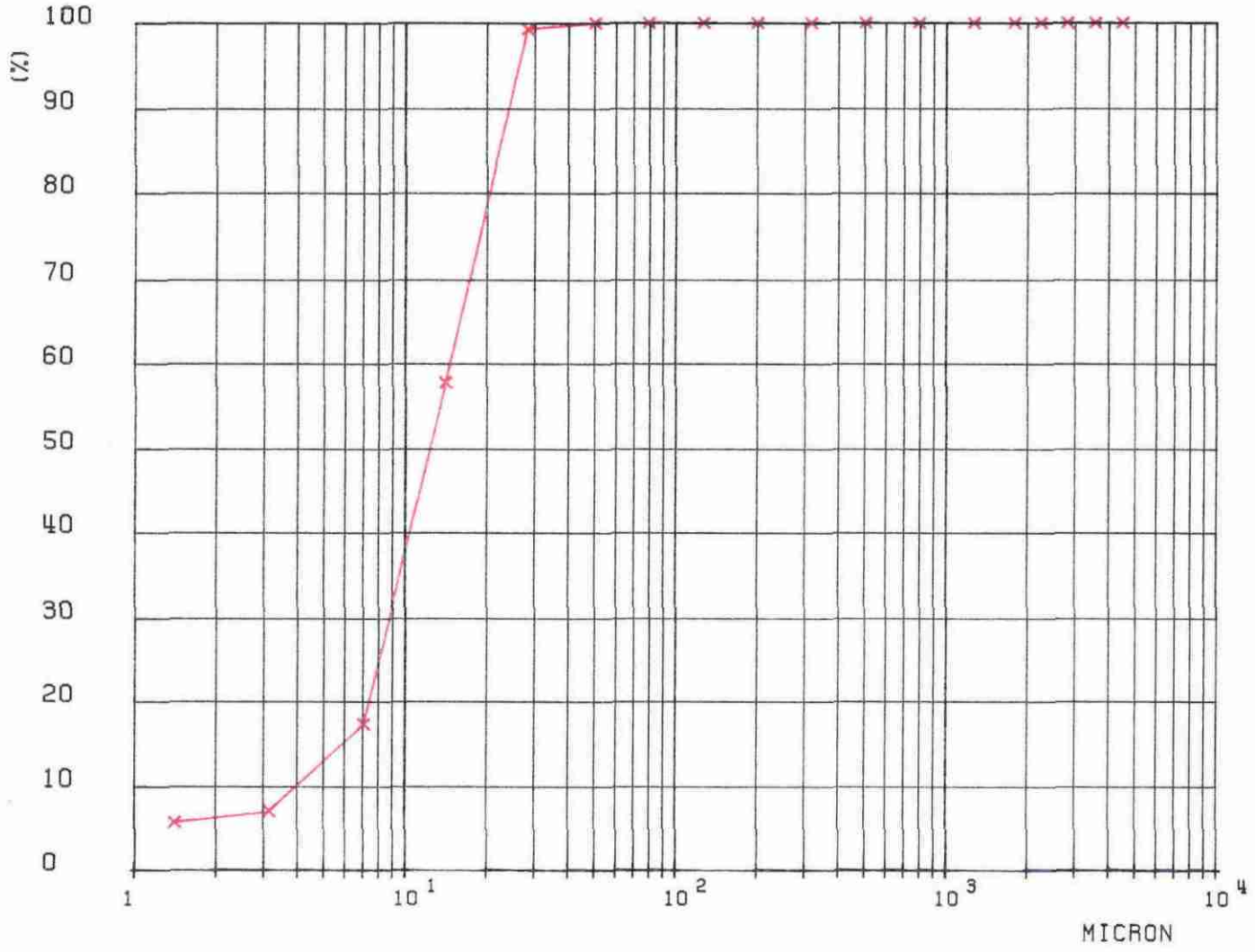


USIM PAC

COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

logiciel BRGM

CYCLONES SECONDAIRES: SIMULATION FINALE

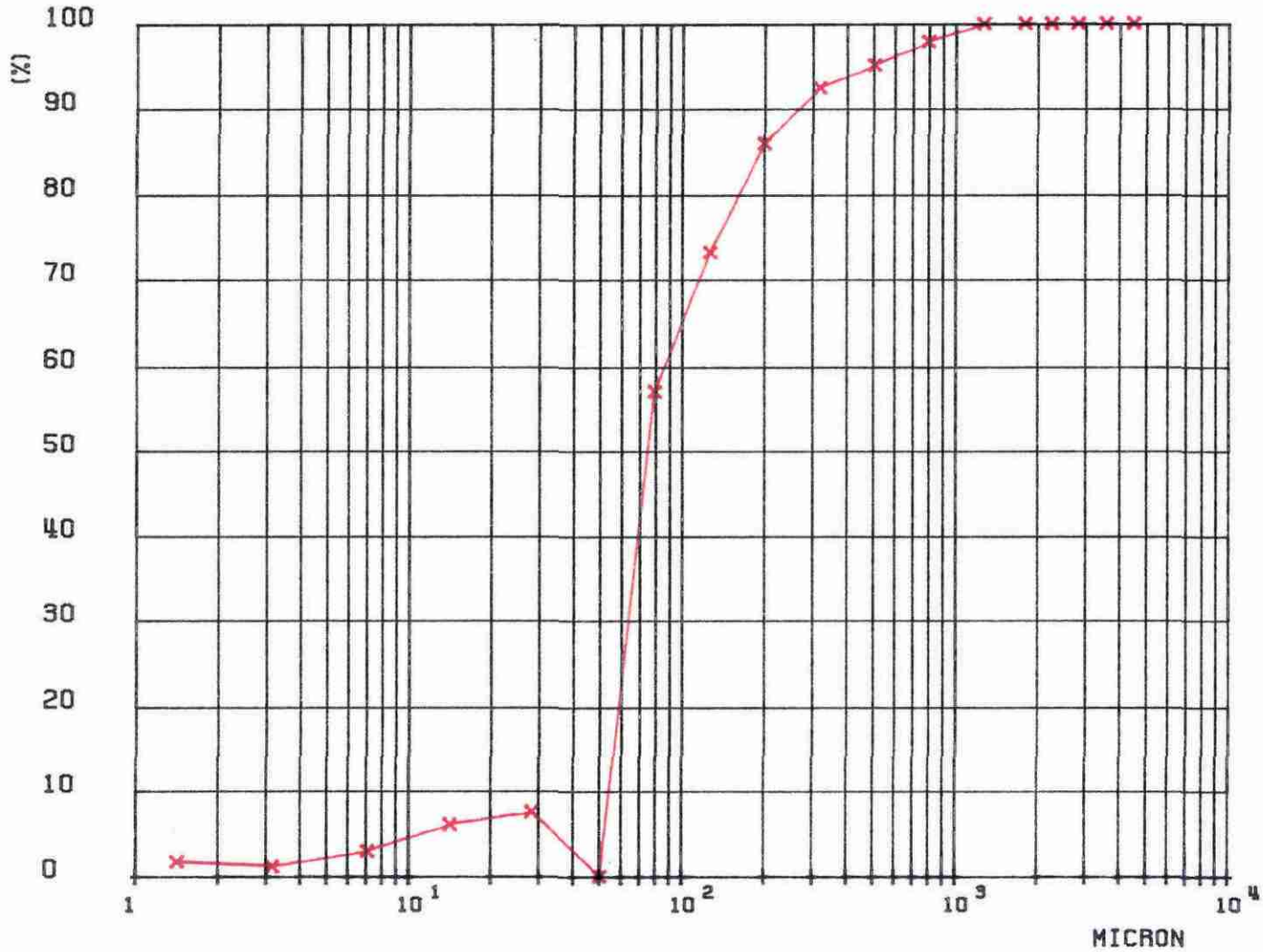


USIM PAC

COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

logiciel BRGM

CYCLONE FLOTTATION: DONNEES EXPERIMENTALES

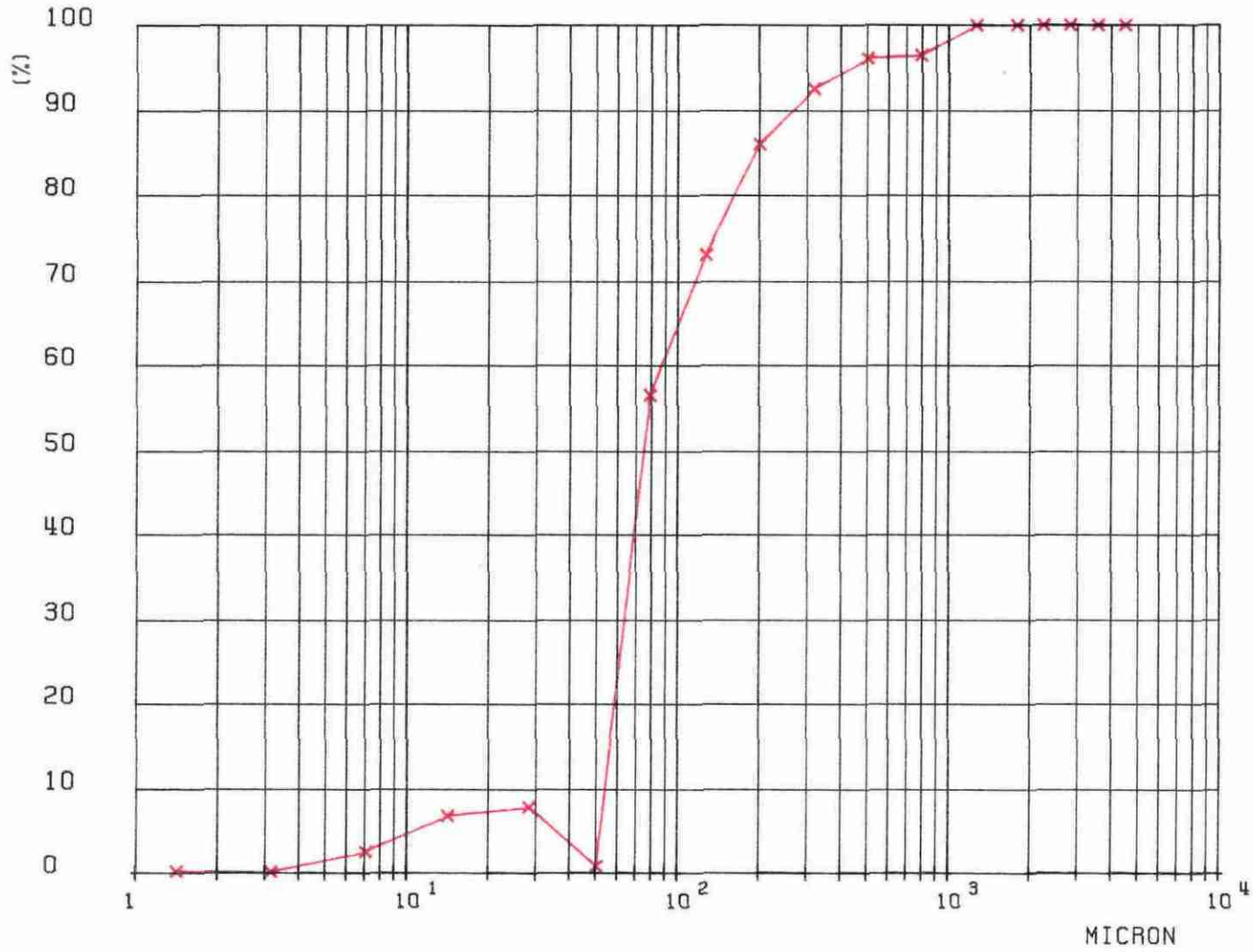


USIM PAC

COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

logiciel BRGM

CYCLONE FLOTTATION: BILAN MATIERE COHERENT

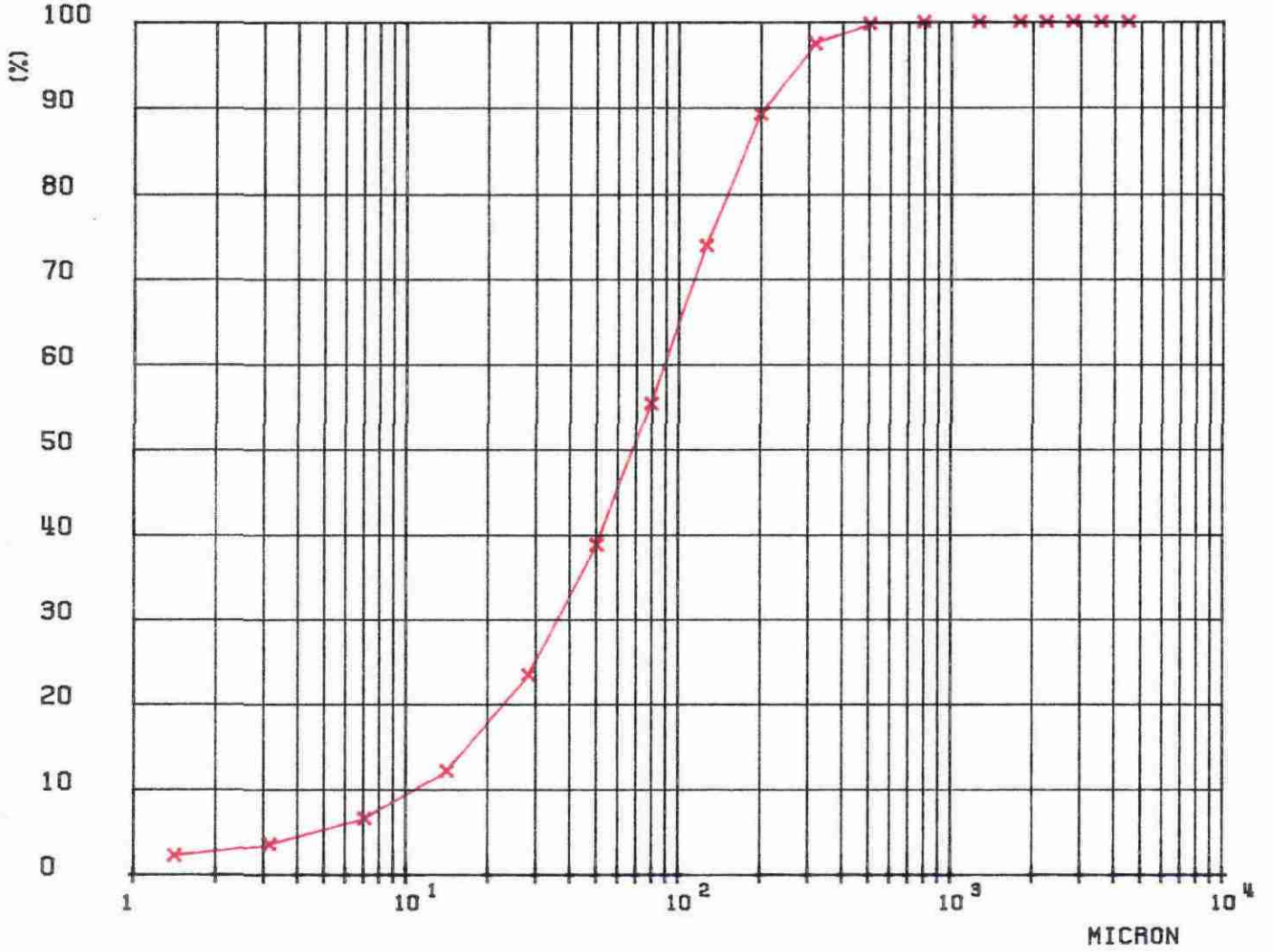


USIM PAC

COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

logiciel BRGM

CYCLONE FLOTTATION: SIMULATION FINALE

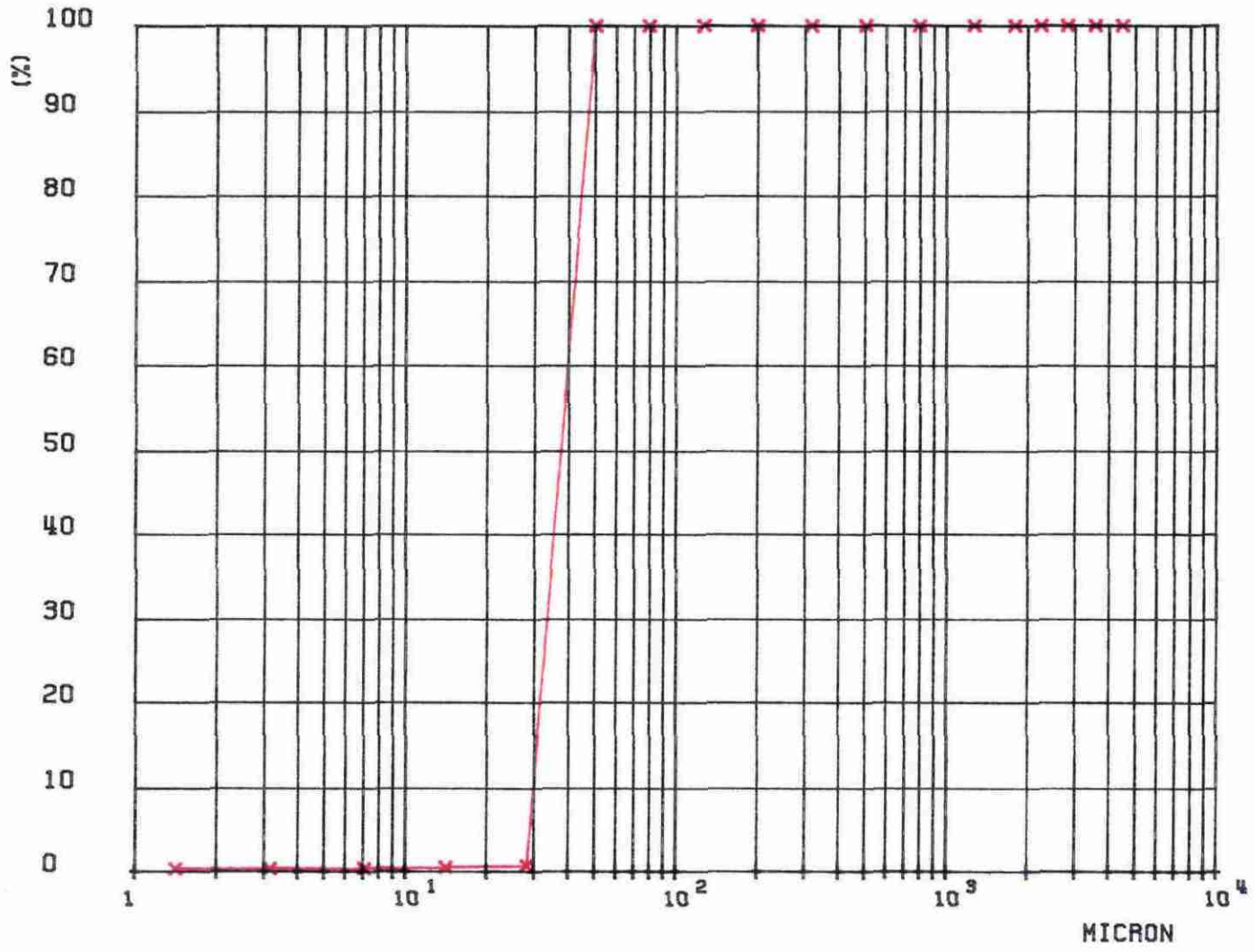


USIM PAC

COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

logiciel BRGM

PANNEAUX TAMISEURS: DONNEES EXPERIMENTALES

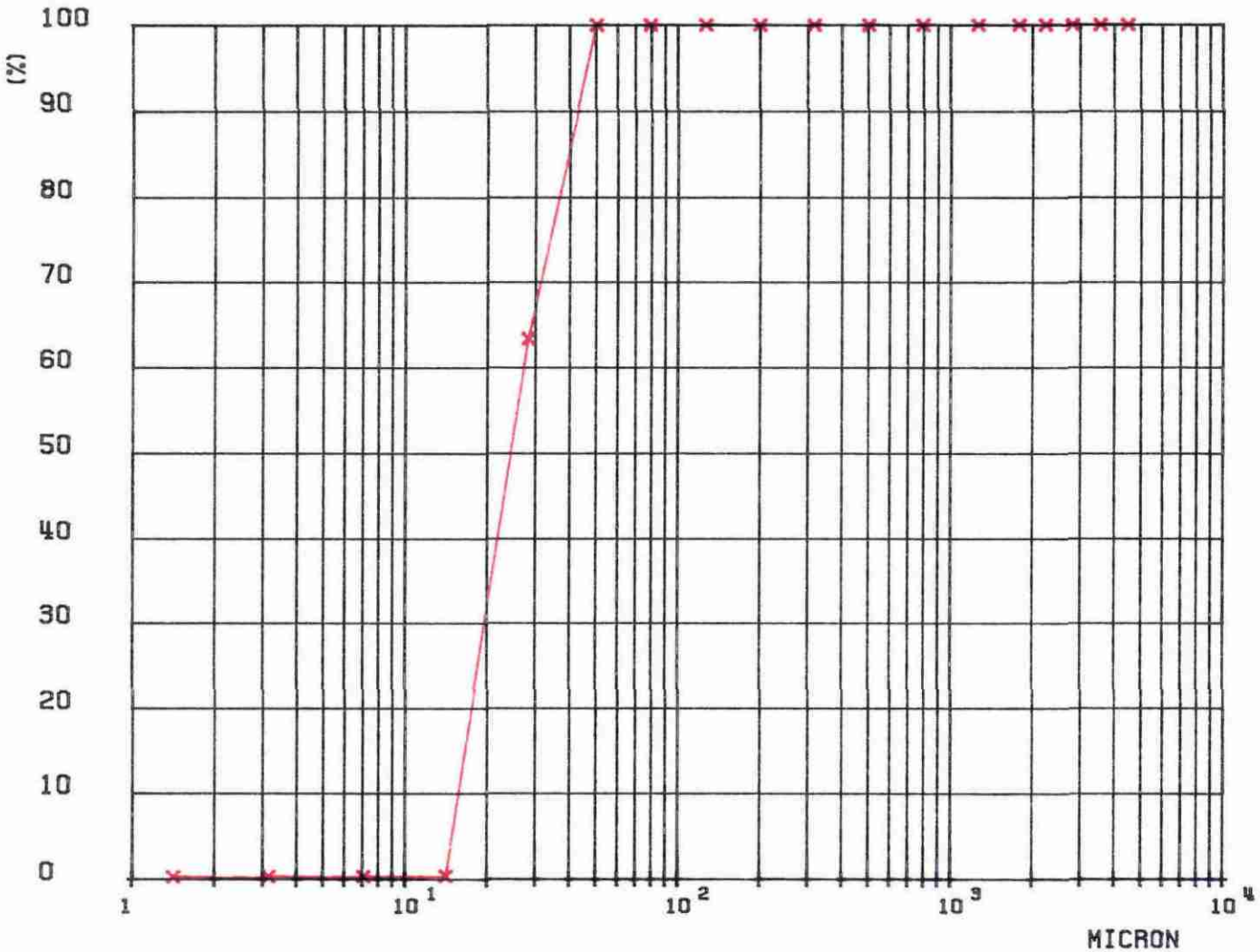


USIM PAC

COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

logiciel BRGM

PANNEAUX TAMISEURS: BILAN MATIERE COHERENT

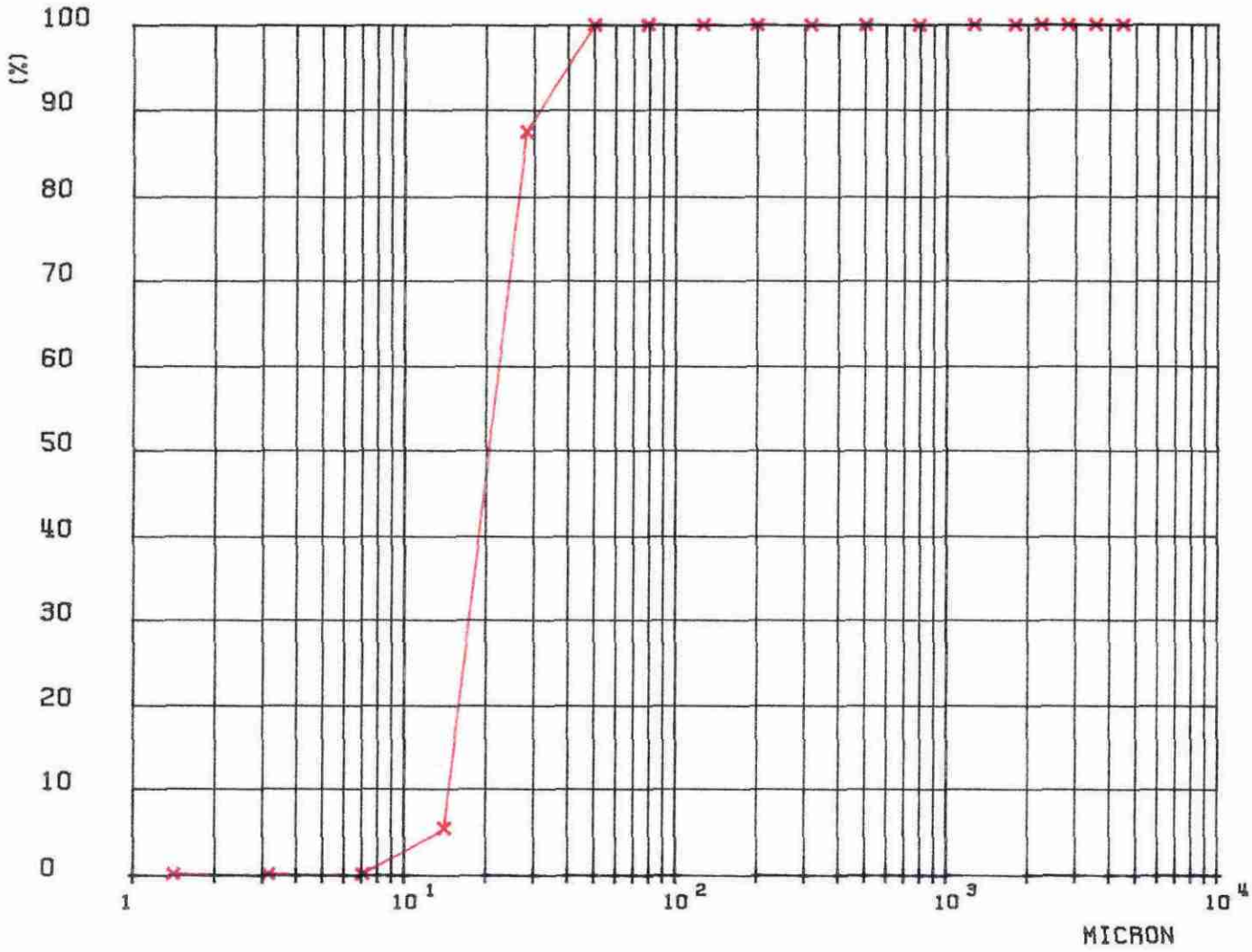


USIM PAC

—× COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

logiciel BRGM

PANNEEAUX TAMISEURS: SIMULATION FINALE

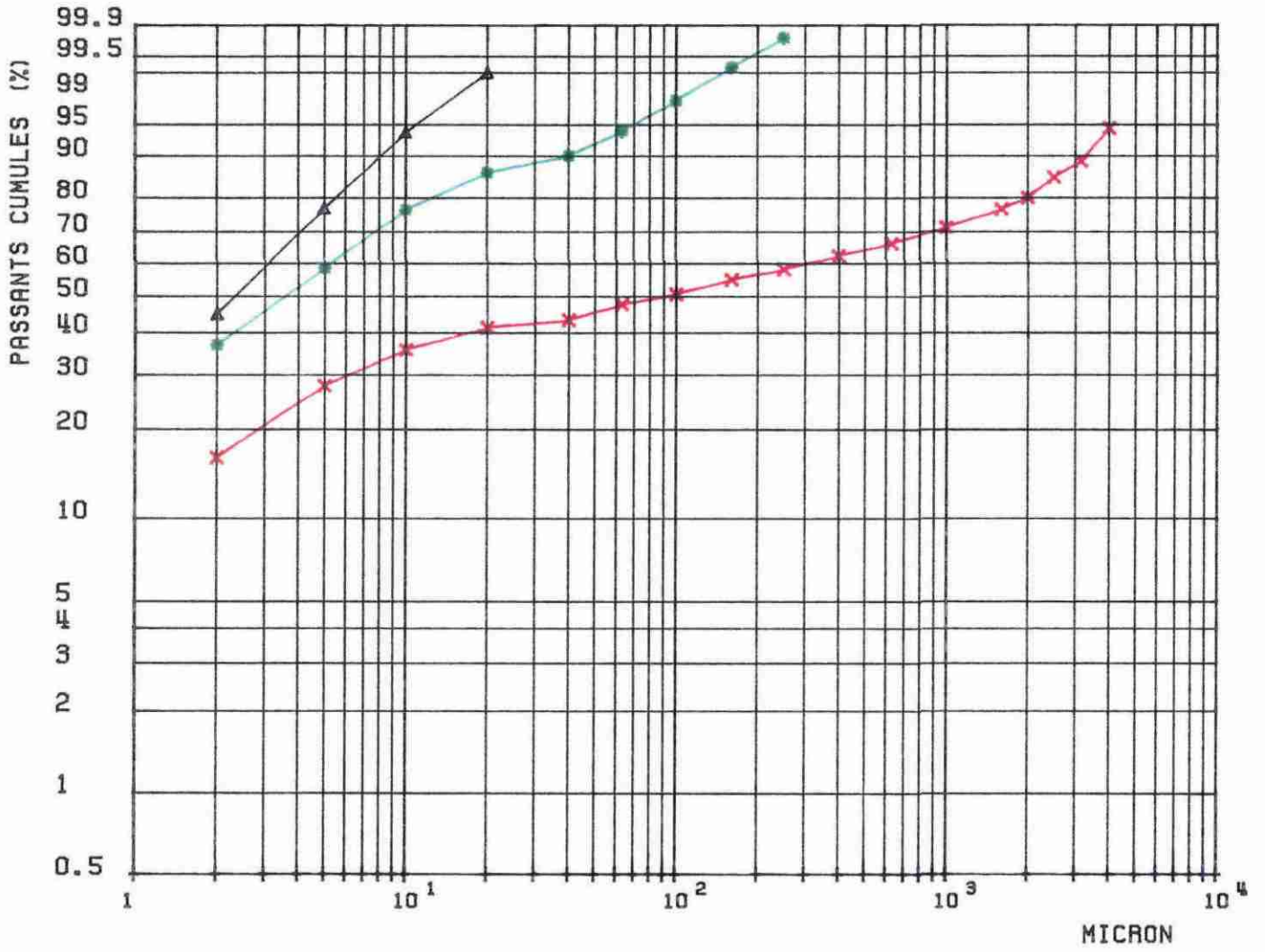


USIM PAC

COURBE DE PARTAGE GRANULOMETRIQUE GLOBAL

logiciel BRGM

DONNEES EXPERIMENTALES: DISTRIBUTIONS GRANULOMETRIQUES

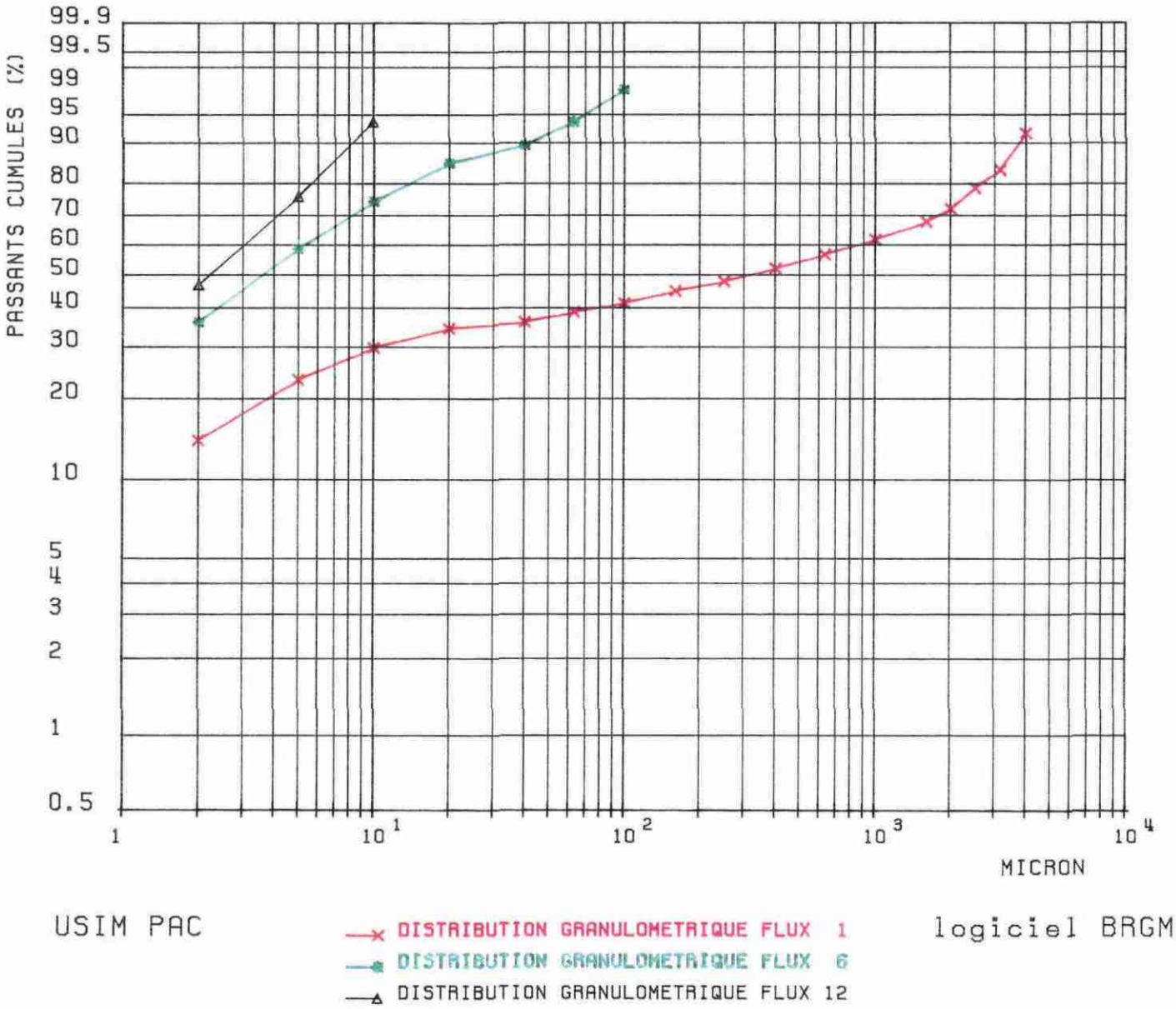


USIM PAC

DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE FLUX 1
DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE FLUX 6
DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE FLUX 12

logiciel BRGM

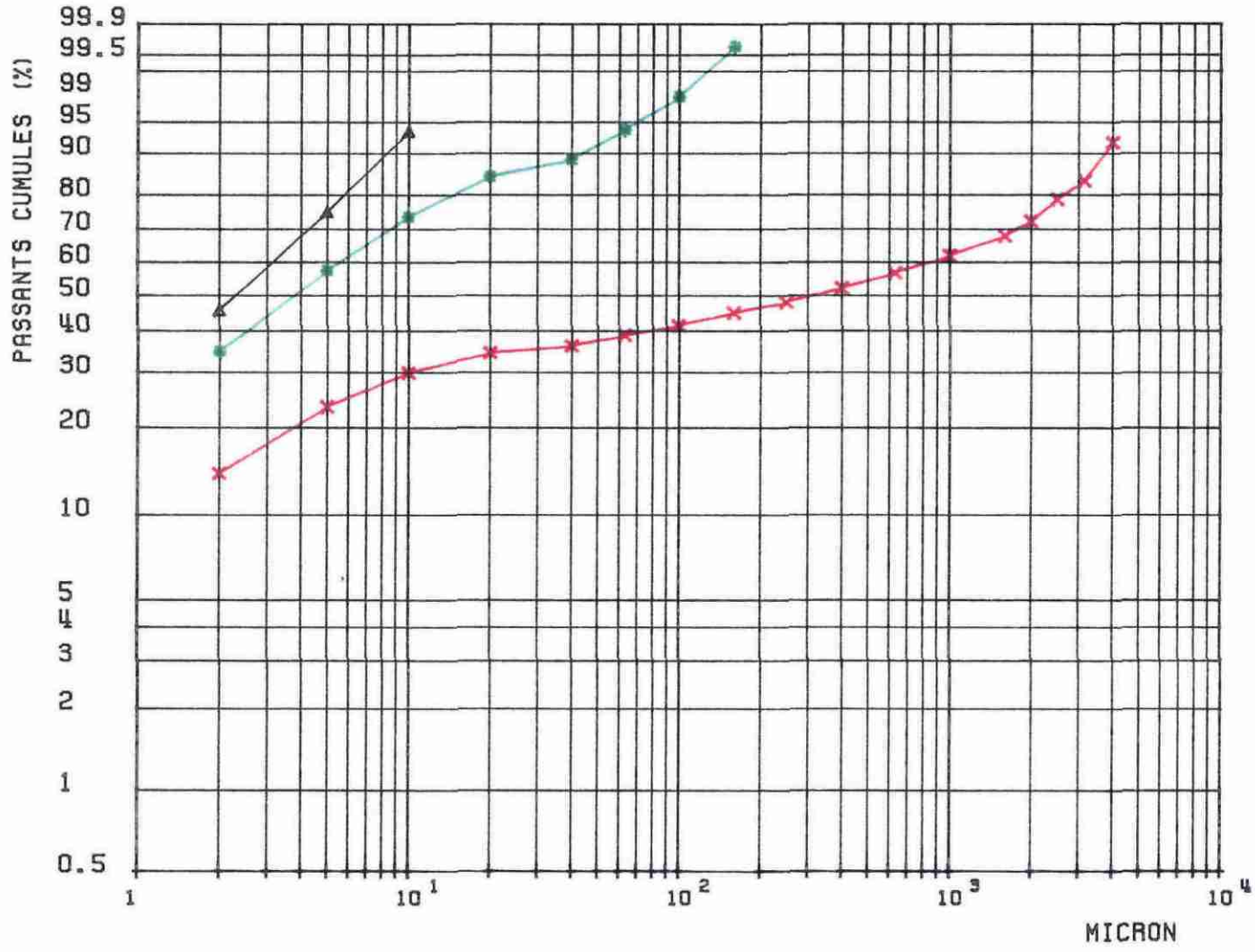
BILAN MATIERE COHERENT: DISTRIBUTIONS GRANULOMETRIQUES



USIM PAC

logiciel BRGM

SIMULATION FINALE: DISTRIBUTIONS GRANULOMETRIQUES



USIM PAC

DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE FLUX 1

DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE FLUX 8

DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE FLUX 12

logiciel BRGM

USIM PAC
Logiciel BRGM

DESCRIPTIF D'UNE
SIMULATION

KAOLINS D'ARVOR: ATELIER DELAYAGE

Fichiers de données utilisés pour la simulation :

Fichier RHEOGRAMME	:	KA1.RHE
Fichier SYSTEME	:	KA1.SIS
Fichier INITIALISATION	:	KAGLACOH.INI
Fichier PARAMETRES	:	KAGLASC.PAR

Sommaire :

B.R.G.M.
Direction des Activités Minières
Département Minéralurgie

GENERALITES

Fichiers de données utilisés pour la simulation :

Fichier RHEOGRAMME	:	KA1.RHE
Fichier SYSTEME	:	KA1.SIS
Fichier INITIALISATION	:	KAGLACOH.INI
Fichier PARAMETRES	:	KAGLASC.PAR

Critère de convergence (%)	:	0.1000
Nombre d'itérations effectuées	:	6.
Erreur maximale (%)	:	0.000000000
Erreur moyenne (%)	:	0.000000000
Flux d'erreur maximale	:	11.

Nombre de classes granulométriques	:	18
Nombre de noeuds	:	12
Nombre de types de particules	:	1
Nombre de flux	:	26
Nombre de minéraux	:	1
Nombre de réactifs	:	0
Nombre de paramètres de flottation	:	0

Noms des minéraux :
mine
Noms des particules :
mine

Bornes des classes granulométriques (microns):

1	-	2
2	-	5
5	-	10
10	-	20
20	-	40
40	-	63
63	-	100
100	-	160
160	-	250
250	-	400
400	-	630
630	-	1000
1000	-	1600
1600	-	2000
2000	-	2500
2500	-	3150
3150	-	4000
4000	-	5000

USIM PAC Logiciel BRGM — Synthèse des résultats

Fl n°	Débit solide (t/h)	Débit liquide (t/h)	mine Ten.	mine Réc.	Minéraux
1	63.35	2.71	99.99	100	
2	64.01	245.11	100.00	101	
3	30.39	30.40	100.00	48	
4	33.62	214.71	100.00	53	
5	33.62	177.07	100.00	53	
6	24.93	174.07	100.00	39	
7	8.69	3.00	100.00	14	
8	24.93	212.18	100.00	39	
9	24.93	210.41	100.00	39	
10	17.31	195.68	100.00	27	
11	0.45	4.01	100.00	1	
12	16.86	196.67	100.00	27	
13	2.56	213.67	100.00	4	
14	0.00	28.83	0.00	0	
15	0.00	7.64	0.00	0	
16	0.00	38.12	0.00	0	
17	0.00	1.77	0.00	0	
18	0.00	5.01	0.00	0	
19	17.31	200.69	100.00	27	
20	1.88	0.10	100.00	3	
21	7.62	14.73	100.00	12	
22	0.00	128.34	0.00	0	
23	8.69	131.34	100.00	14	
24	8.69	216.66	100.00	14	
25	0.00	85.32	0.00	0	
26	6.13	2.99	100.00	10	

RESULTATS DETAILLES

FLUX PAR FLUX

Ces résultats sont présentés en tableaux contenant pour chaque flux:

- les débits solide et liquide exprimés en t/h,
- la distribution granulométrique (les classes représentant moins de 0.01 % en poids n'apparaissent pas),
- le pourcentage pondéral de chaque classe granulométrique,
- les passants cumulés,
- les teneurs par type de particules et par classe granulométrique exprimées en pourcentage (%),
- les teneurs moyennes par type de particules exprimées en pourcentage (%).

B.R.G.M.
Direction des Activités Minières
Département Minéralurgie

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 1

Débit solide (t/h) : 63.346
Débit liquide (t/h) : 2.709

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
5000 - 4000	8.04	100.00	100.00
4000 - 3150	8.24	91.96	100.00
3150 - 2500	5.03	83.72	100.00
2500 - 2000	6.46	78.69	100.00
2000 - 1600	4.32	72.23	100.00
1600 - 1000	5.97	67.91	100.00
1000 - 630	5.23	61.94	100.00
630 - 400	4.55	56.71	100.00
400 - 250	4.20	52.16	100.00
250 - 160	2.96	47.96	100.00
160 - 100	3.61	45.00	100.00
100 - 63	2.58	41.39	100.00
63 - 40	2.67	38.81	100.00
40 - 20	1.70	36.14	100.00
20 - 10	4.59	34.44	100.00
10 - 5	6.59	29.85	100.00
5 - 2	9.18	23.26	100.00
2 - 1	14.07	14.08	100.00

Teneurs par minéral : 99.99

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 2

Débit solide (t/h) : 64.014
Débit liquide (t/h) : 245.110

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
5000 - 4000	5.01	100.00	100.00
4000 - 3150	8.15	94.99	100.00
3150 - 2500	4.98	86.83	100.00
2500 - 2000	6.39	81.86	100.00
2000 - 1600	4.27	75.46	100.00
1600 - 1000	5.91	71.19	100.00
1000 - 630	5.18	65.28	100.00
630 - 400	4.51	60.11	100.00
400 - 250	4.21	55.60	100.00
250 - 160	3.13	51.39	100.00
160 - 100	4.18	48.25	100.00
100 - 63	3.17	44.08	100.00
63 - 40	3.28	40.90	100.00
40 - 20	1.98	37.63	100.00
20 - 10	5.03	35.64	100.00
10 - 5	6.93	30.61	100.00
5 - 2	9.42	23.69	100.00
2 - 1	14.27	14.27	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 3

Débit solide (t/h) : 30.395
Débit liquide (t/h) : 30.396

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
5000 - 4000	10.56	100.00	100.00
4000 - 3150	17.17	89.44	100.00
3150 - 2500	10.48	72.27	100.00
2500 - 2000	13.46	61.79	100.00
2000 - 1600	9.00	48.32	100.00
1600 - 1000	12.36	39.32	100.00
1000 - 630	9.75	26.96	100.00
630 - 400	6.13	17.21	100.00
400 - 250	3.45	11.08	100.00
250 - 160	1.46	7.63	100.00
160 - 100	1.15	6.18	100.00
100 - 63	0.58	5.02	100.00
63 - 40	0.46	4.45	100.00
40 - 20	0.23	3.99	100.00
20 - 10	0.54	3.75	100.00
10 - 5	0.73	3.21	100.00
5 - 2	0.99	2.48	100.00
2 - 1	1.49	1.49	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 4

Débit solide (t/h) : 33.619
Débit liquide (t/h) : 214.714

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
1600 - 1000	0.08	100.00	100.00
1000 - 630	1.04	99.92	100.00
630 - 400	3.03	98.88	100.00
400 - 250	4.90	95.85	100.00
250 - 160	4.65	90.95	100.00
160 - 100	6.91	86.30	100.00
100 - 63	5.52	79.38	100.00
63 - 40	5.83	73.87	100.00
40 - 20	3.57	68.04	100.00
20 - 10	9.08	64.47	100.00
10 - 5	12.53	55.39	100.00
5 - 2	17.04	42.86	100.00
2 - 1	25.82	25.82	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 5

Débit solide (t/h) : 33.619
Débit liquide (t/h) : 177.070

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
1600 - 1000	0.08	100.00	100.00
1000 - 630	1.04	99.92	100.00
630 - 400	3.03	98.88	100.00
400 - 250	4.90	95.85	100.00
250 - 160	4.65	90.95	100.00
160 - 100	6.91	86.30	100.00
100 - 63	5.52	79.38	100.00
63 - 40	5.83	73.87	100.00
40 - 20	3.57	68.04	100.00
20 - 10	9.08	64.47	100.00
10 - 5	12.53	55.39	100.00
5 - 2	17.04	42.86	100.00
2 - 1	25.82	25.82	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 6

Débit solide (t/h) : 24.933
Débit liquide (t/h) : 174.067

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
630 - 400	0.04	100.00	100.00
400 - 250	0.39	99.96	100.00
250 - 160	1.09	99.56	100.00
160 - 100	3.14	98.47	100.00
100 - 63	3.80	95.33	100.00
63 - 40	5.15	91.53	100.00
40 - 20	3.79	86.38	100.00
20 - 10	10.82	82.59	100.00
10 - 5	15.78	71.77	100.00
5 - 2	22.09	56.00	100.00
2 - 1	33.91	33.91	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 7

Débit solide (t/h) : 8.686
Débit liquide (t/h) : 3.003

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
1600 - 1000	0.29	100.00	100.00
1000 - 630	4.03	99.70	100.00
630 - 400	11.63	95.68	100.00
400 - 250	17.84	84.05	100.00
250 - 160	14.87	66.21	100.00
160 - 100	17.73	51.34	100.00
100 - 63	10.45	33.61	100.00
63 - 40	7.76	23.15	100.00
40 - 20	2.93	15.39	100.00
20 - 10	4.09	12.46	100.00
10 - 5	3.21	8.37	100.00
5 - 2	2.53	5.16	100.00
2 - 1	2.62	2.62	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 8

Débit solide (t/h) : 24.933
Débit liquide (t/h) : 212.185

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
630 - 400	0.04	100.00	100.00
400 - 250	0.39	99.96	100.00
250 - 160	1.09	99.56	100.00
160 - 100	3.14	98.47	100.00
100 - 63	3.80	95.33	100.00
63 - 40	5.15	91.53	100.00
40 - 20	3.79	86.38	100.00
20 - 10	10.82	82.59	100.00
10 - 5	15.78	71.77	100.00
5 - 2	22.09	56.00	100.00
2 - 1	33.91	33.91	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 9

Débit solide (t/h) : 24.933
Débit liquide (t/h) : 210.410

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
630 - 400	0.04	100.00	100.00
400 - 250	0.39	99.96	100.00
250 - 160	1.09	99.56	100.00
160 - 100	3.14	98.47	100.00
100 - 63	3.80	95.33	100.00
63 - 40	5.15	91.53	100.00
40 - 20	3.79	86.38	100.00
20 - 10	10.82	82.59	100.00
10 - 5	15.78	71.77	100.00
5 - 2	22.09	56.00	100.00
2 - 1	33.91	33.91	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 10

Débit solide (t/h) : 17.310
Débit liquide (t/h) : 195.676

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
40 - 20	0.02	100.00	100.00
20 - 10	6.55	99.98	100.00
10 - 5	18.84	93.43	100.00
5 - 2	29.23	74.59	100.00
2 - 1	45.36	45.36	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 11

Débit solide (t/h) : 0.451
Débit liquide (t/h) : 4.014

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
40 - 20	0.57	100.00	100.00
20 - 10	26.08	99.43	100.00
10 - 5	16.00	73.35	100.00
5 - 2	22.50	57.35	100.00
2 - 1	34.85	34.85	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 12

Débit solide (t/h) : 16.860
Débit liquide (t/h) : 196.674

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
20 - 10	6.03	99.99	100.00
10 - 5	18.91	93.97	100.00
5 - 2	29.41	75.05	100.00
2 - 1	45.64	45.64	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 13

Débit solide (t/h) : 2.558
Débit liquide (t/h) : 213.666

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
630 - 400	0.07	100.00	100.00
400 - 250	1.38	99.93	100.00
250 - 160	5.15	98.55	100.00
160 - 100	15.14	93.40	100.00
100 - 63	15.48	78.25	100.00
63 - 40	15.90	62.77	100.00
40 - 20	7.56	46.87	100.00
20 - 10	12.15	39.31	100.00
10 - 5	10.18	27.16	100.00
5 - 2	8.29	16.99	100.00
2 - 1	8.69	8.69	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 14

Débit solide (t/h) : 0.000
Débit liquide (t/h) : 28.834

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 15

Débit solide (t/h) : 0.000
Débit liquide (t/h) : 7.645

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 16

Débit solide (t/h) : 0.000
Débit liquide (t/h) : 38.118

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 17

Débit solide (t/h) : 0.000
Débit liquide (t/h) : 1.774

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 18

Débit solide (t/h) : 0.000
Débit liquide (t/h) : 5.012

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 19

Débit solide (t/h) : 17.310
Débit liquide (t/h) : 200.688

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
40 - 20	0.02	100.00	100.00
20 - 10	6.55	99.98	100.00
10 - 5	18.84	93.43	100.00
5 - 2	29.23	74.59	100.00
2 - 1	45.36	45.36	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM ═══ Détail des résultats

FLUX numéro 20

Débit solide (t/h) : 1.884
Débit liquide (t/h) : 0.099

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
5000 - 4000	100.00	100.00	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM ═══ Détail des résultats

FLUX numéro 21

Débit solide (t/h) : 7.623
Débit liquide (t/h) : 14.734

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
630 - 400	0.14	100.00	100.00
400 - 250	1.29	99.86	100.00
250 - 160	3.57	98.57	100.00
160 - 100	10.28	95.01	100.00
100 - 63	12.42	84.72	100.00
63 - 40	16.85	72.30	100.00
40 - 20	12.35	55.45	100.00
20 - 10	20.51	43.10	100.00
10 - 5	8.82	22.59	100.00
5 - 2	5.87	13.77	100.00
2 - 1	7.90	7.90	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM ═══ Détail des résultats

FLUX numéro 22

Débit solide (t/h) : 0.000
Débit liquide (t/h) : 128.335

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 23

Débit solide (t/h) : 8.686
Débit liquide (t/h) : 131.338

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
1600 - 1000	0.29	100.00	100.00
1000 - 630	4.03	99.70	100.00
630 - 400	11.63	95.68	100.00
400 - 250	17.84	84.05	100.00
250 - 160	14.87	66.21	100.00
160 - 100	17.73	51.34	100.00
100 - 63	10.45	33.61	100.00
63 - 40	7.76	23.15	100.00
40 - 20	2.93	15.39	100.00
20 - 10	4.09	12.46	100.00
10 - 5	3.21	8.37	100.00
5 - 2	2.53	5.16	100.00
2 - 1	2.62	2.62	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Détail des résultats

FLUX numéro 24

Débit solide (t/h) : 8.686
Débit liquide (t/h) : 216.659

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
1600 - 1000	0.29	100.00	100.00
1000 - 630	4.03	99.70	100.00
630 - 400	11.63	95.68	100.00
400 - 250	17.84	84.05	100.00
250 - 160	14.87	66.21	100.00
160 - 100	17.73	51.34	100.00
100 - 63	10.45	33.61	100.00
63 - 40	7.76	23.15	100.00
40 - 20	2.93	15.39	100.00
20 - 10	4.09	12.46	100.00
10 - 5	3.21	8.37	100.00
5 - 2	2.53	5.16	100.00
2 - 1	2.62	2.62	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

USIM PAC Logiciel BRGM ═══ Détail des résultats

FLUX numéro 25

Débit solide (t/h) : 0.000
Débit liquide (t/h) : 85.321

USIM PAC Logiciel BRGM ═══ Détail des résultats

FLUX numéro 26

Débit solide (t/h) : 6.128
Débit liquide (t/h) : 2.993

Répartition par tranche granulométrique :

Classe granulométrique	% poids	Passants cumulés	Teneurs par type de part.(%) mine
1600 - 1000	0.42	99.99	100.00
1000 - 630	5.71	99.58	100.00
630 - 400	16.45	93.87	100.00
400 - 250	24.71	77.42	100.00
250 - 160	18.93	52.71	100.00
160 - 100	18.82	33.78	100.00
100 - 63	8.35	14.96	100.00
63 - 40	4.36	6.61	100.00
40 - 20	1.00	2.25	100.00
20 - 10	0.73	1.26	100.00
10 - 5	0.31	0.52	100.00
5 - 2	0.13	0.22	100.00
2 - 1	0.09	0.09	100.00

Teneurs par minéral : 100.00

MODELE DE MINERAI

Le modèle utilisé pour représenter le minerai dans la simulation est décrit dans un paragraphe contenant:

- les noms des minéraux,
- leurs densités,
- leurs propriétés physiques,
- la composition minéralogique des particules,
- les noms des types de particules,
- leurs densités,
- leurs propriétés physiques.

B.R.G.M.
Direction des Activités Minières
Département Minéralurgie

USIM PAC Logiciel BRGM — Modèle de minerai

Minéraux :

Minéral	Densité	Propriétés physiques				
mine	2.60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Composition minéralogique des particules :

Type de particules	Minéraux mine
mine	1.00

Propriétés physiques des particules :

Type de partic.	Densité	Propriétés physiques				
mine	2.60	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000	0.000 0.000

FLUX INITIALISES

Les flux initialisés sont en général les flux d'entrée de matière (minerai et eau) dans l'usine simulée. D'autres flux peuvent être initialisés, notamment pour accélérer la la convergence. Ces flux sont présentés un par un. Chaque paragraphe indique pour un flux initialisé:

- les débits solide et liquide exprimés en t/h,
- la distribution granulométrique,
- les teneurs par type de particules et par classe granulométrique exprimées en pourcentage (%).

B.R.G.M.
Direction des Activités Minières
Département Minéralurgie

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 1

Débit solide (t/h) : 63.35
Débit liquide (t/h) : 2.71

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
5000 - 4000	8.04	100.00
4000 - 3150	8.24	100.00
3150 - 2500	5.03	100.00
2500 - 2000	6.46	100.00
2000 - 1600	4.32	100.00
1600 - 1000	5.97	100.00
1000 - 630	5.23	100.00
630 - 400	4.55	100.00
400 - 250	4.20	100.00
250 - 160	2.96	100.00
160 - 100	3.61	100.00
100 - 63	2.58	100.00
63 - 40	2.67	100.00
40 - 20	1.70	100.00
20 - 10	4.59	100.00
10 - 5	6.59	100.00
5 - 2	9.18	100.00
2 - 1	14.07	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 2

Débit solide (t/h) : 59.79
Débit liquide (t/h) : 209.17

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
5000 - 4000	5.38	100.00
4000 - 3150	5.50	100.00
3150 - 2500	3.56	100.00
2500 - 2000	5.23	100.00
2000 - 1600	4.12	100.00
1600 - 1000	5.61	100.00
1000 - 630	5.11	100.00
630 - 400	4.72	100.00
400 - 250	4.42	100.00
250 - 160	3.34	100.00
160 - 100	4.44	100.00
100 - 63	3.53	100.00
63 - 40	3.44	100.00
40 - 20	2.15	100.00
20 - 10	5.44	100.00
10 - 5	7.58	100.00
5 - 2	10.48	100.00
2 - 1	15.96	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 3

Débit solide (t/h) : 25.74
Débit liquide (t/h) : 5.01

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
5000 - 4000	12.48	100.00
4000 - 3150	12.70	100.00
3150 - 2500	8.26	100.00
2500 - 2000	12.14	100.00
2000 - 1600	9.58	100.00
1600 - 1000	13.03	100.00
1000 - 630	11.16	100.00
630 - 400	6.53	100.00
400 - 250	4.38	100.00
250 - 160	1.87	100.00
160 - 100	1.44	100.00
100 - 63	0.03	100.00
63 - 40	2.16	100.00
40 - 20	0.11	100.00
20 - 10	0.86	100.00
10 - 5	1.09	100.00
5 - 2	1.32	100.00
2 - 1	0.86	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 4

Débit solide (t/h) : 34.05
Débit liquide (t/h) : 204.16

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
1000 - 630	0.53	100.00
630 - 400	3.36	100.00
400 - 250	4.44	100.00
250 - 160	4.46	100.00
160 - 100	6.72	100.00
100 - 63	6.24	100.00
63 - 40	4.40	100.00
40 - 20	3.69	100.00
20 - 10	8.89	100.00
10 - 5	12.48	100.00
5 - 2	17.41	100.00
2 - 1	27.37	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 5

Débit solide (t/h) : 34.05
Débit liquide (t/h) : 171.98

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
1000 - 630	0.53	100.00
630 - 400	3.36	100.00
400 - 250	4.44	100.00
250 - 160	4.46	100.00
160 - 100	6.72	100.00
100 - 63	6.24	100.00
63 - 40	4.40	100.00
40 - 20	3.69	100.00
20 - 10	8.89	100.00
10 - 5	12.48	100.00
5 - 2	17.41	100.00
2 - 1	27.37	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 6

Débit solide (t/h) : 24.06
Débit liquide (t/h) : 164.87

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
250 - 160	0.07	100.00
160 - 100	2.25	100.00
100 - 63	3.80	100.00
63 - 40	4.34	100.00
40 - 20	4.20	100.00
20 - 10	10.82	100.00
10 - 5	15.92	100.00
5 - 2	22.56	100.00
2 - 1	36.02	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 7

Débit solide (t/h) : 9.99
Débit liquide (t/h) : 7.12

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
1000 - 630	1.82	100.00
630 - 400	11.44	100.00
400 - 250	15.13	100.00
250 - 160	15.01	100.00
160 - 100	17.46	100.00
100 - 63	12.12	100.00
63 - 40	4.54	100.00
40 - 20	2.48	100.00
20 - 10	4.24	100.00
10 - 5	4.20	100.00
5 - 2	5.01	100.00
2 - 1	6.54	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 8

Débit solide (t/h) : 24.06
Débit liquide (t/h) : 215.06

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
250 - 160	0.07	100.00
160 - 100	2.25	100.00
100 - 63	3.80	100.00
63 - 40	4.34	100.00
40 - 20	4.20	100.00
20 - 10	10.82	100.00
10 - 5	15.92	100.00
5 - 2	22.56	100.00
2 - 1	36.02	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 9

Débit solide (t/h) : 24.06
Débit liquide (t/h) : 212.59

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
250 - 160	0.07	100.00
160 - 100	2.25	100.00
100 - 63	3.80	100.00
63 - 40	4.34	100.00
40 - 20	4.20	100.00
20 - 10	10.82	100.00
10 - 5	15.92	100.00
5 - 2	22.56	100.00
2 - 1	36.02	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 10

Débit solide (t/h) : 17.57
Débit liquide (t/h) : 203.86

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
63 - 40	0.03	100.00
20 - 10	6.11	100.00
10 - 5	17.86	100.00
5 - 2	29.15	100.00
2 - 1	46.84	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 11

Débit solide (t/h) : 0.06
Débit liquide (t/h) : 0.90

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
400 - 250	0.10	100.00
250 - 160	0.10	100.00
160 - 100	0.67	100.00
100 - 63	1.41	100.00
63 - 40	8.95	100.00
40 - 20	5.06	100.00
20 - 10	6.93	100.00
10 - 5	15.20	100.00
5 - 2	25.28	100.00
2 - 1	36.31	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 12

Débit solide (t/h) : 17.51
Débit liquide (t/h) : 207.97

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
20 - 10	6.10	100.00
10 - 5	17.86	100.00
5 - 2	29.17	100.00
2 - 1	46.87	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 13

Débit solide (t/h) : 4.00
Débit liquide (t/h) : 178.03

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
1000 - 630	0.16	100.00
630 - 400	1.11	100.00
400 - 250	2.79	100.00
250 - 160	5.23	100.00
160 - 100	11.70	100.00
100 - 63	13.15	100.00
63 - 40	11.24	100.00
40 - 20	5.69	100.00
20 - 10	9.86	100.00
10 - 5	10.22	100.00
5 - 2	12.53	100.00
2 - 1	16.31	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 14

Débit solide (t/h) : 0.00
Débit liquide (t/h) : 28.83

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 15

Débit solide (t/h) : 0.00
Débit liquide (t/h) : 12.17

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 16

Débit solide (t/h) : 0.00
Débit liquide (t/h) : 38.12

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 17

Débit solide (t/h) : 0.00
Débit liquide (t/h) : 2.47

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 18

Débit solide (t/h) : 0.00
Débit liquide (t/h) : 5.01

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 19

Débit solide (t/h) : 17.57
Débit liquide (t/h) : 208.87

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
63 - 40	0.03	100.00
20 - 10	6.11	100.00
10 - 5	17.86	100.00
5 - 2	29.15	100.00
2 - 1	46.84	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 20

Débit solide (t/h) : 7.55
Débit liquide (t/h) : 0.40

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
5000 - 4000	24.93	100.00
4000 - 3150	25.51	100.00
3150 - 2500	14.02	100.00
2500 - 2000	12.80	100.00
2000 - 1600	3.56	100.00
1600 - 1000	5.62	100.00
1000 - 630	3.53	100.00
630 - 400	1.38	100.00
400 - 250	1.75	100.00
250 - 160	1.10	100.00
160 - 100	1.32	100.00
100 - 63	0.65	100.00
63 - 40	1.18	100.00
40 - 20	0.29	100.00
20 - 10	0.70	100.00
10 - 5	0.68	100.00
5 - 2	0.64	100.00
2 - 1	0.35	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 21

Débit solide (t/h) : 6.49
Débit liquide (t/h) : 8.73

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
250 - 160	0.25	100.00
160 - 100	8.34	100.00
100 - 63	14.10	100.00
63 - 40	16.02	100.00
40 - 20	15.58	100.00
20 - 10	23.60	100.00
10 - 5	10.67	100.00
5 - 2	4.71	100.00
2 - 1	6.71	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 22

Débit solide (t/h) : 0.00
Débit liquide (t/h) : 128.33

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 23

Débit solide (t/h) : 9.99
Débit liquide (t/h) : 165.45

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
1000 - 630	1.82	100.00
630 - 400	11.44	100.00
400 - 250	15.13	100.00
250 - 160	15.01	100.00
160 - 100	17.46	100.00
100 - 63	12.12	100.00
63 - 40	4.54	100.00
40 - 20	2.48	100.00
20 - 10	4.24	100.00
10 - 5	4.20	100.00
5 - 2	5.01	100.00
2 - 1	6.54	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 24

Débit solide (t/h) : 9.99
Débit liquide (t/h) : 186.76

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
1000 - 630	1.82	100.00
630 - 400	11.44	100.00
400 - 250	15.13	100.00
250 - 160	15.01	100.00
160 - 100	17.46	100.00
100 - 63	12.12	100.00
63 - 40	4.54	100.00
40 - 20	2.48	100.00
20 - 10	4.24	100.00
10 - 5	4.20	100.00
5 - 2	5.01	100.00
2 - 1	6.54	100.00

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 25

Débit solide (t/h) : 0.00
Débit liquide (t/h) : 21.30

USIM PAC Logiciel BRGM — Flux initialisé

FLUX NUMERO 26

Débit solide (t/h) : 6.00
Débit liquide (t/h) : 8.72

Répartition granulométrique par tranche :

Classe granulométrique	% poids	Teneurs par type de particules (%) mine
1600 - 1000	0.02	100.00
1000 - 630	2.92	100.00
630 - 400	18.33	100.00
400 - 250	23.35	100.00
250 - 160	21.54	100.00
160 - 100	21.31	100.00
100 - 63	11.43	100.00
63 - 40	0.06	100.00
40 - 20	0.33	100.00
20 - 10	0.49	100.00
10 - 5	0.18	100.00
2 - 1	0.02	100.00

CARACTERISTIQUES DES APPAREILS

Ces modèles sont présentés en paragraphes contenant:

- le numéro de l'appareil dans le flowsheet,
- le nom du modèle utilisé pour simuler cet appareil,
- les descriptions des paramètres visibles,
- les valeurs et les unités des paramètres visibles,
- les valeurs des paramètres cachés écrites ligne par ligne.

B.R.G.M.
Direction des Activités Minières
Département Minéralurgie

USIM PAC Logiciel BRGM — Modèle d'appareil

Appareil 1 - Modèle COUPURE PARFAITE

Paramètres visibles :

Dimension de coupure (mm)	:	4.6300
Pourcentage de solides dans les grossiers	:	95.0000

USIM PAC Logiciel BRGM — Modèle d'appareil

Appareil 2 - Modèle CLASS. GRAV NIVEAU 1

Paramètres visibles :

Nombre de classificateurs en parallèle	:	1.0000
Surface de décantation (mètres carré/unité)	:	4.8000
Efficacité surfacique-rapport:net/reél aire (%)	:	35.0000
Pourcentage des solids du flux grossier (sables)	:	50.0000

Paramètres cachés :

1.00000 1.80000 0.40000

USIM PAC Logiciel BRGM — Modèle d'appareil

Appareil 3 - Modèle REGULATEUR VOLUMIQUE

Paramètres visibles :

Débit volumique de pulpe (m3/h)	:	190.0000

USIM PAC Logiciel BRGM — Modèle d'appareil

Appareil 4 - Modèle CYCLONE NIVEAU 2

Paramètres visibles :

Nombre d'hydrocyclones en parallèle	:	1.0000
Diamètre de l'hydrocyclone DC (m)	:	0.5000
Rapport distance buse de surverse-buse de souverse	:	2.5540
Rapport diamètre de la buse d'alimentation/DC	:	0.1520
Rapport diamètre de la buse de surverse/DC	:	0.2900
Rapport diamètre de la buse de souverse/DC	:	0.1000

Paramètres cachés :

0.30000 3.50000 1.00000 1.00000

USIM PAC Logiciel BRGM — Modèle d'appareil

Appareil 5 - Modèle MELANGEUR

USIM PAC Logiciel BRGM — Modèle d'appareil

Appareil 6 - Modèle REGULATEUR VOLUMIQUE

Paramètres visibles :

Débit volumique de pulpe (m3/h)	:	220.0000

USIM PAC Logiciel BRGM — Modèle d'appareil

Appareil 7 - Modèle CYCLONE NIVEAU 2

Paramètres visibles :

Nombre d'hydrocyclones en parallèle	:	1.0000
Diamètre de l'hydrocyclone DC (m)	:	0.5000
Rapport distance buse de surverse-buse de souverse	:	2.5540
Rapport diamètre de la buse d'alimentation/DC	:	0.1520
Rapport diamètre de la buse de surverse/DC	:	0.2900
Rapport diamètre de la buse de souverse/DC	:	0.1000

Paramètres cachés :

2.30000 3.30000 0.80000 1.00000

USIM PAC Logiciel BRGM — Modèle d'appareil

Appareil 8 - Modèle MELANGEUR

USIM PAC Logiciel BRGM — Modèle d'appareil

Appareil 9 - Modèle REGULATEUR VOLUMIQUE

Paramètres visibles :

Débit volumique de pulpe (m3/h)	:	220.0000

USIM PAC Logiciel BRGM — Modèle d'appareil

Appareil 10 - Modèle CYCLONE NIVEAU 2

Paramètres visibles :

Nombre d'hydrocyclones en parallèle	:	16.0000
Diamètre de l'hydrocyclone DC (m)	:	0.1000
Rapport distance buse de surverse-buse de souverse	:	5.9450
Rapport diamètre de la buse d'alimentation/DC	:	0.3700
Rapport diamètre de la buse de surverse/DC	:	0.3300
Rapport diamètre de la buse de souverse/DC	:	0.1600

Paramètres cachés :

0.70000 1.00000 0.50000 1.00000

USIM PAC Logiciel BRGM — Modèle d'appareil

Appareil 11 - Modèle MELANGEUR

USIM PAC Logiciel BRGM — Modèle d'appareil

Appareil 12 - Modèle PANNEAU NIVEAU OB

Paramètres visibles :

Soutirage de la loi de Degoul (%)	:	2.0000
d80 (mm) en sortie pour le flux fin	:	0.0060
Imperfection de la courbe de partage réduite (frac	:	0.2000

FICHIER

FONCTIONNEMENT

Ce fichier est présenté en paragraphes contenant pour chaque appareil

- son numéro et le nom de son dessin encadrés,
- le nom du modèle utilisé pour la simulation,
  le numéro du modèle utilisé pour l'estimation
  des coûts d'investissement, le nom de ce modèle,
  le nombre de paramètres utilisés pour cette estimation,
  le nombre de paramètres de fonctionnement de l'appareil,
- les intitulés des paramètres utilisés pour l'estimation
  des coûts d'investissement et leurs valeurs,
- les intitulés des paramètres de fonctionnement
  et leurs valeurs,

B.R.G.M.
Direction des Activités Minières
Département Minéralurgie

USIM PAC Logiciel BRGM — Fichier Fonctionnement

Fichiers de données utilisés pour la simulation :

Fichier RHEOGRAMME	:	KA1.RHE
Fichier SYSTEME	:	KA1.SIS
Fichier INITIALISATION	:	KAGLACOH.INI
Fichier PARAMETRES	:	KAGLASC.PAR

Nombre d'appareils : 12

App. n° 1 TROMMEL DEBOURBEUR

CLASSIFICAT. PARFAIT 1 CIME 0 0

App. n° 2 RATEAU CLASSIFICATEUR

RATEAU CLASSIFICATEUR 4 CICY 2 6

Nombre de classificateurs en parallèle	1.000
Diamètre de spirale exigé (m)	1.001
Surface de décantation totale disponible (m^2)	1.680
Dimension du d80 de la surverse	104.460
D50 réduit (microns)	409.58
Imperfection de la courbe de partage réduite	0.442
% Récupération d'eau dans la sousverse, Rf,	12.40
Densité moyenne des solides de l'alimentation	2.60

App. n° 3	REGULATEUR

REGULATEUR DEBIT VOL. 3 CIRV 0 0

App. n° 4	HYDROCYCLONE

HYDROCYCLONE 14 CICY 2 16

Nombre de cyclones en parallèle:	1.000
Diamètre du cyclone (m):	0.500
Chute de pression (kPa):	260.340
soit, en mètres de hauteur de pulpe:	23.932
D50 moyen réduit (μm)	83.729
Imperfection de la courbe de partage réduite	0.750
Récupération d'eau dans la souverse (%)	1.696
Limite de boudinage en % volumique de solide	52.612
Densité moyenne des solides à l'alimentation	2.600
Densité moyenne du flux de l'alimentation	1162.107
Densité moyenne du flux de souverse	1801.580
Densité moyenne du flux de surverse	1126.852

ATTENTION: Boudinage prévu à la sousverse.
Le d50 réduit a été augmenté 6.29 fois
pour satisfaire la contrainte de fraction
solide à la souverse.
Pour éviter le boudinage, un diamètre de buse
de souverse de 0.074 (m) est recommandé.

App. n° 5	MELANGEUR

MELANGEUR 1 CIME 0 0

App. n° 6	REGULATEUR

REGULATEUR DEBIT VOL. 3 CIRV 0 0

App. n° 7	HYDROCYCLONE

HYDROCYCLONE	14	CICY	2	10

Nombre de cyclones en parallèle:	1.000
Diamètre du cyclone (m):	0.500
Chute de pression (kPa):	328.280
soit, en mètres de hauteur de pulpe:	32.670
D50 moyen réduit (μm)	68.527
Imperfection de la courbe de partage réduite	0.709
Récupération d'eau dans la souverse (%)	1.381
Limite de boudinage en % volumique de solide	50.153
Densité moyenne des solides à l'alimentation	2.600
Densité moyenne du flux de l'alimentation	1038.581
Densité moyenne du flux de souverse	1682.738
Densité moyenne du flux de surverse	1011.835

App. n° 8	MELANGEUR

MELANGEUR	1	CIME	0	0

App. n° 9	REGULATEUR

REGULATEUR DEBIT VOL.	3	CIRV	0	0

App. n°10	HYDROCYCLONE

HYDROCYCLONE	14	CICY	2	10

Nombre de cyclones en parallèle:	16.000
Diamètre du cyclone (m):	0.100
Chute de pression (kPa):	127.756
soit, en mètres de hauteur de pulpe:	12.174
D50 moyen réduit (μm)	13.470
Imperfection de la courbe de partage réduite	0.276
Récupération d'eau dans la souverse (%)	7.003
Limite de boudinage en % volumique de solide	50.179
Densité moyenne des solides à l'alimentation	2.600
Densité moyenne du flux de l'alimentation	1106.679
Densité moyenne du flux de souverse	1348.709
Densité moyenne du flux de surverse	1081.706

App. n°11	MELANGEUR

MELANGEUR	1	CIME	0	0

App. n°12	PANNEAUX TAMISEURS

PANNEAUX TAMISEURS	5	CICV	0	1

- ANNEXE 8 -

REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES RESULTATS ISSUS DES DIFFERENTS TESTS REALISES HORS LIGNE A PARTIR DU SIMULATEUR:

* COMPARAISON DES RENDEMENTS ATELIER, CALCULES A PARTIR DE SIMULATIONS ET DES RENDEMENTS EXPERIMENTAUX

* VARIATIONS DU COMPORTEMENT DES PARAMETRES MAJEURS DE CONTROLE DANS L'ATELIER, EN FONCTION:
    - DU DEBIT INITIAL DE MINERAI
    - DES VARIATIONS DE TENEUR EN KAOLIN DANS LE MINERAI DE DEPART

Les premiers tests réalisés à l'aide de l'outil de simulation font référence à 2 types de contrôle.

- Des contrôles sur le fonctionnement global de l'usine. Ces derniers sont réalisés mensuellement par le personnel du laboratoire pour vérifier le rendement possible de l'atelier.

- Des contrôles sur le fonctionnement de chaque appareil. L'utilisation du simulateur permet d'apporter ici des informations indirectes sur les dimensions de coupures pour chaque séparation.

Le premier point concerne la récupération du kaolin par rapport à la quantité initiale dans le minerai à traiter. Elle est calculée à partir d'analyses de granulométries de tous les flux de sortie de l'atelier:

$$R = \frac{\text{\% massique de particules < 20 microns dans le produit final}}{\sum \text{\% massique de particules < 20 microns contenu dans chaque flux de sortie}}$$

Les deux premières figures représentent les rendements calculés à partir de valeurs expérimentales et ceux calculés de la même façon à partir des résultats obtenus par simulation.

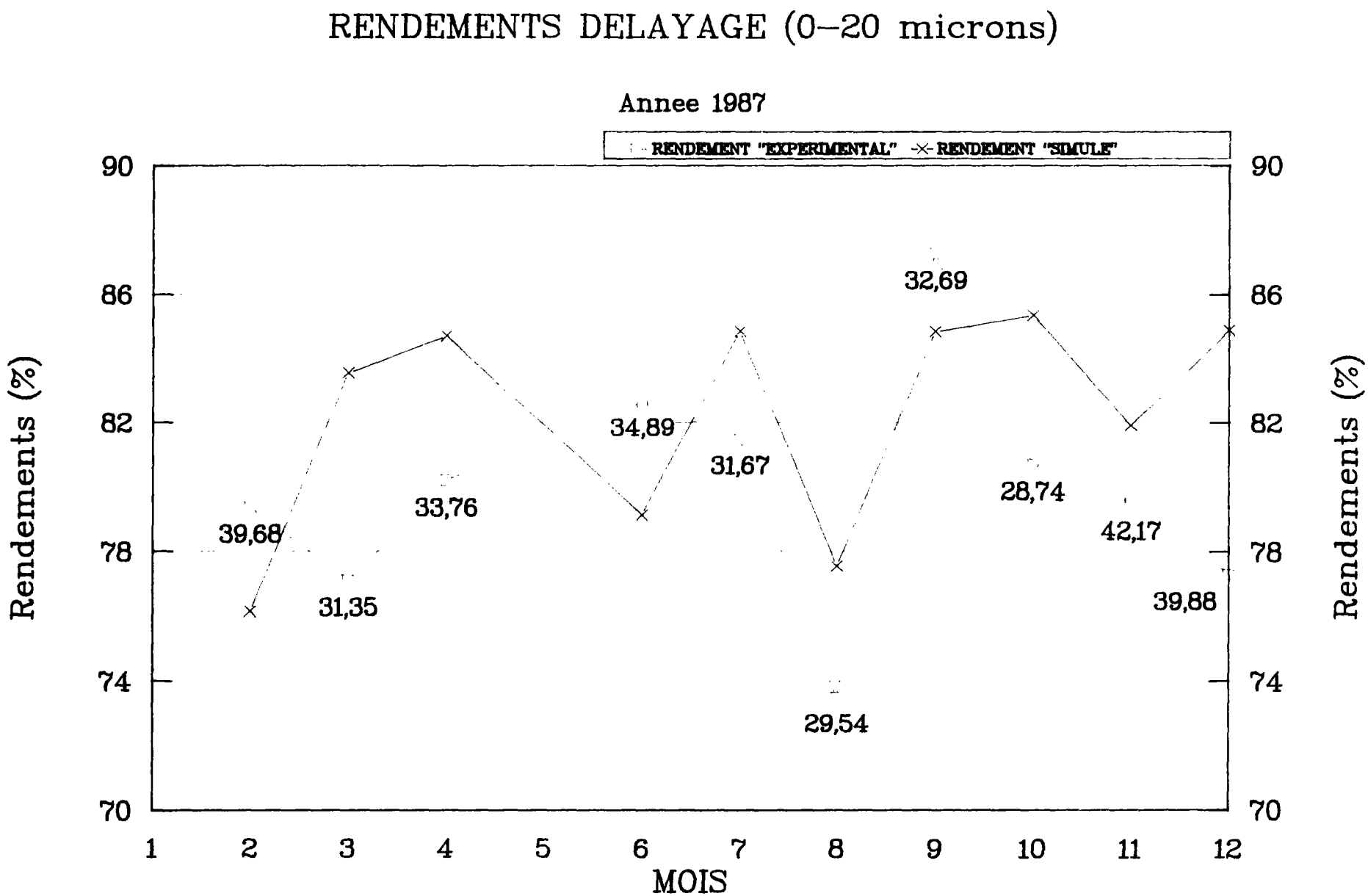
Il y a dans certains cas des différences notoires entre les résultats pour un même mois. Il est nécessaire de reprendre ces résultats avec l'ingénieur supervisant le procédé pour savoir si le simulateur doit être remis en cause dans certaines conditions.

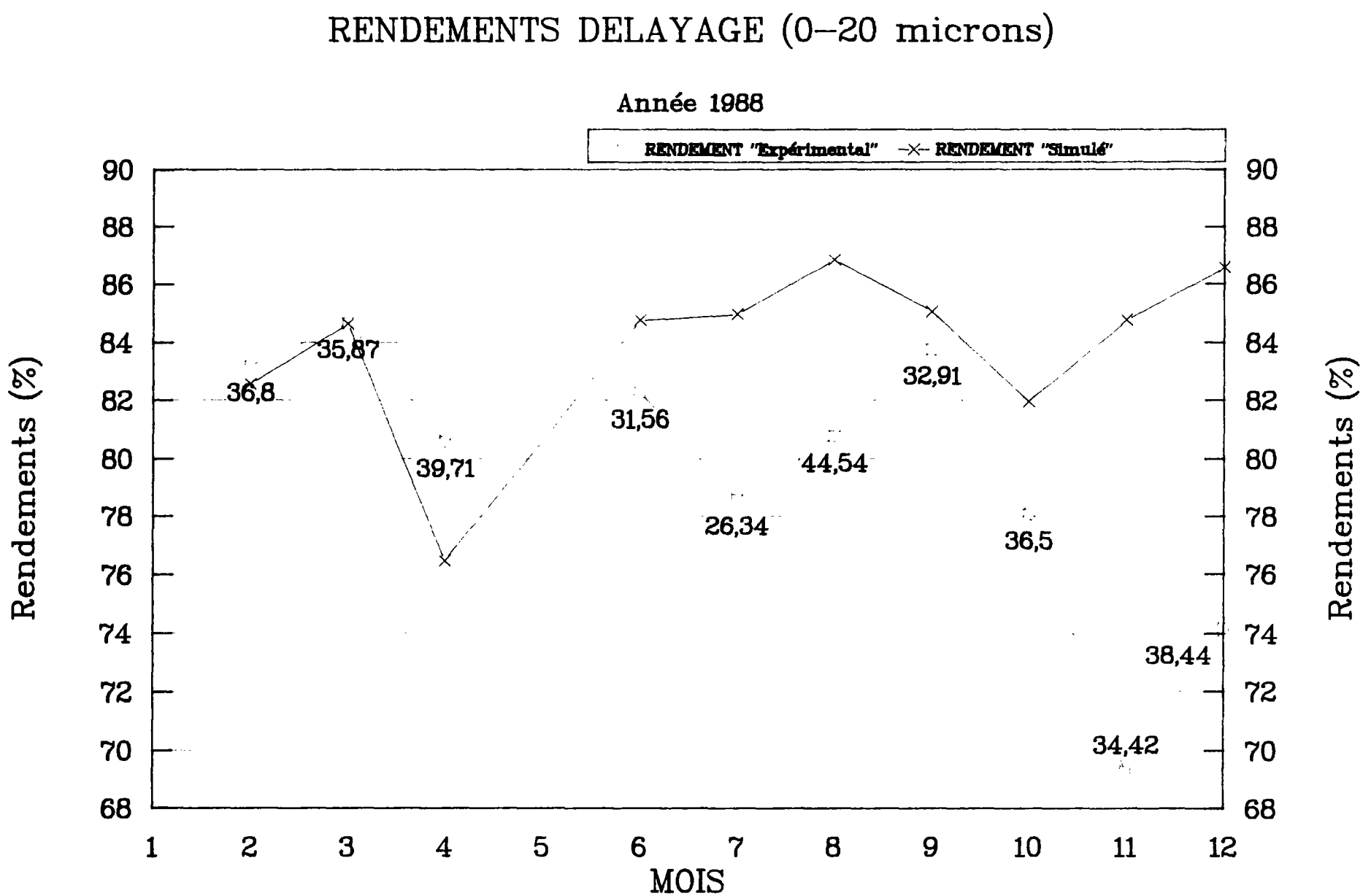
Si une meilleure fiabilité pouvait être assurée, il serait alors possible d'introduire dans le système expert le calcul du rendement à partir des résultats issus de la simulation.

Le deuxième point concerne le fonctionnement des appareils de séparation, notamment les points de coupure de chaque cyclone.

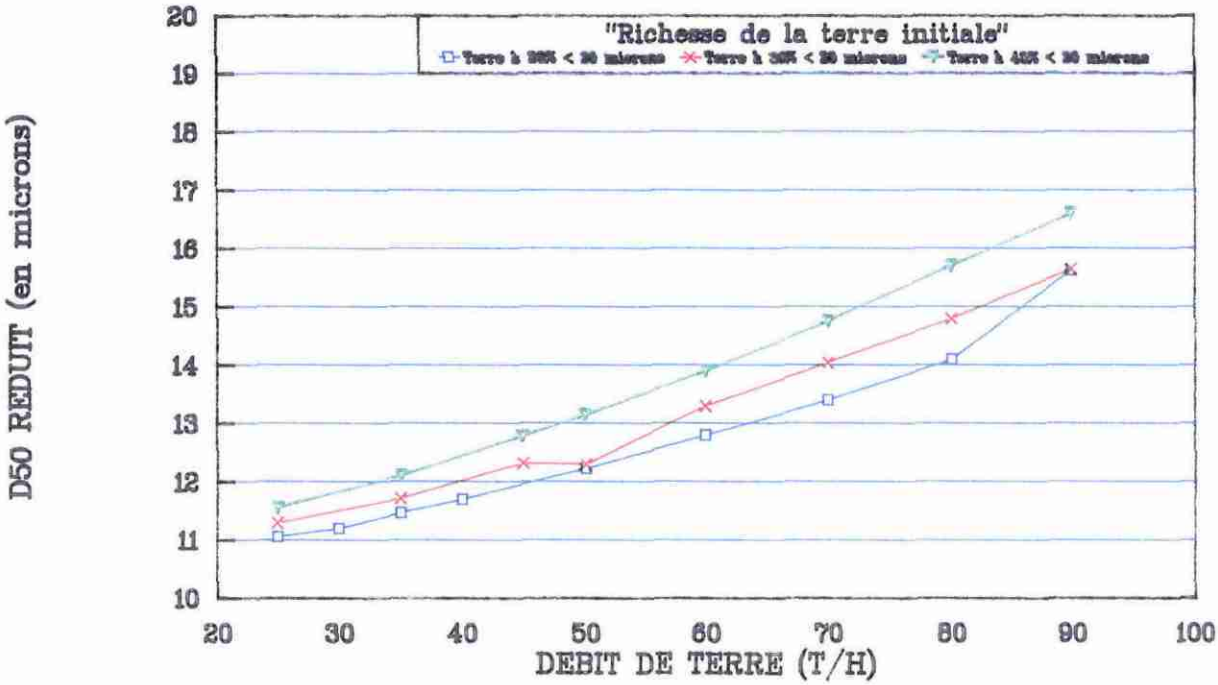
- La troisième figure concerne l'évaluation de la densité de la surverse du cyclone secondaire en fonction du débit de minerai initial et de sa composition. Ces valeurs mesurées sur site servent, rappelons le, au réglage du débit initial de minerai. Les valeurs calculées par la simulation semblent supérieures à celles mesurées sur site.

- Les trois dernières figures permettent d'évaluer les points de coupure des cyclones suivant le débit de minerai initial et sa composition. Les augmentations soudaines du point de coupure correspondent à des boudinages des cyclones. Ces valeurs sont des résultats indirects qui pourraient être utiles à l'opérateur pour le suivi de son atelier.


RENDEMENTS DELAYAGE (0–20 microns)
Annee 1987
RENDEMENT "EXPERIMENTAL"
RENDEMENT "SIMULE"
Rendements (%)
90
86
82
78
74
70
39,68
31,35
33,76
34,89
31,67
29,54
32,69
28,74
42,17
39,88
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
MOIS

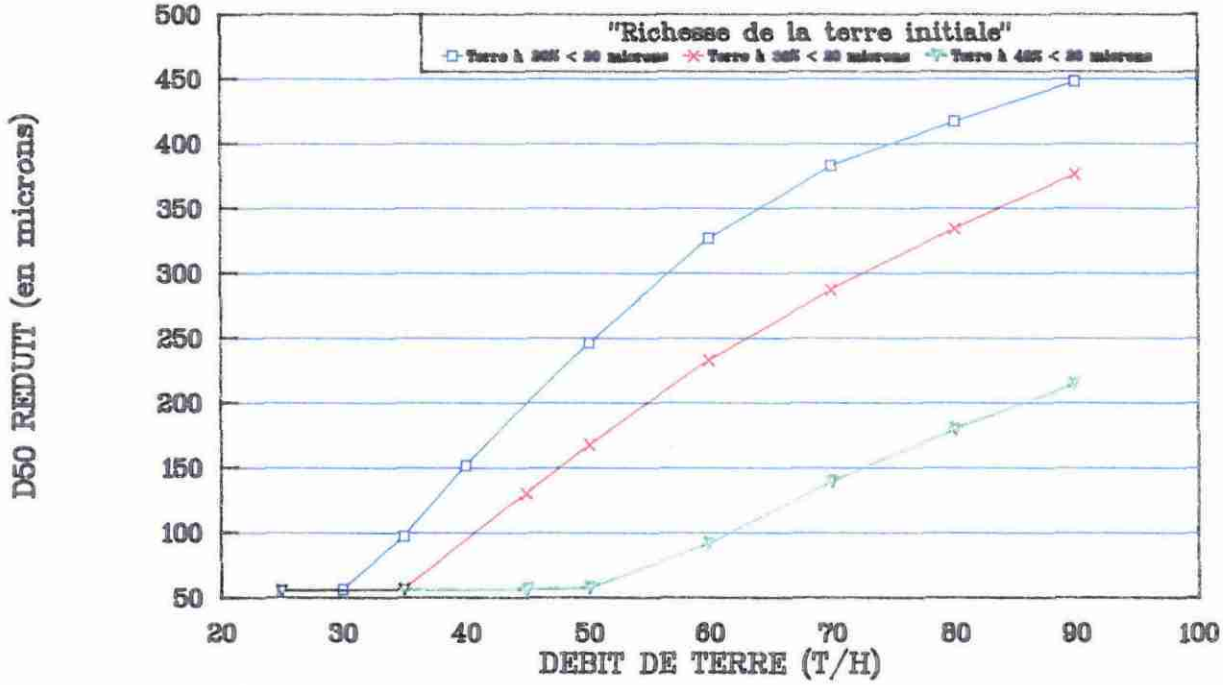

RENDEMENTS DELAYAGE (0–20 microns)
Année 1988
RENDEMENT "Expérimental"
RENDEMENT "Simulé"
Rendements (%)
90
88
86
84
82
80
78
76
74
72
70
68
36,8
35,87
39,71
31,56
26,34
44,54
32,91
36,5
34,42
38,44
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
MOIS

VARIATION DU D50 REDUIT DES CYCLONES SECONDAIRES
AVEC LE DEBIT DE TERRE
(pour différents taux d'inférieurs à 20 microns)
(dans le minerai initial)



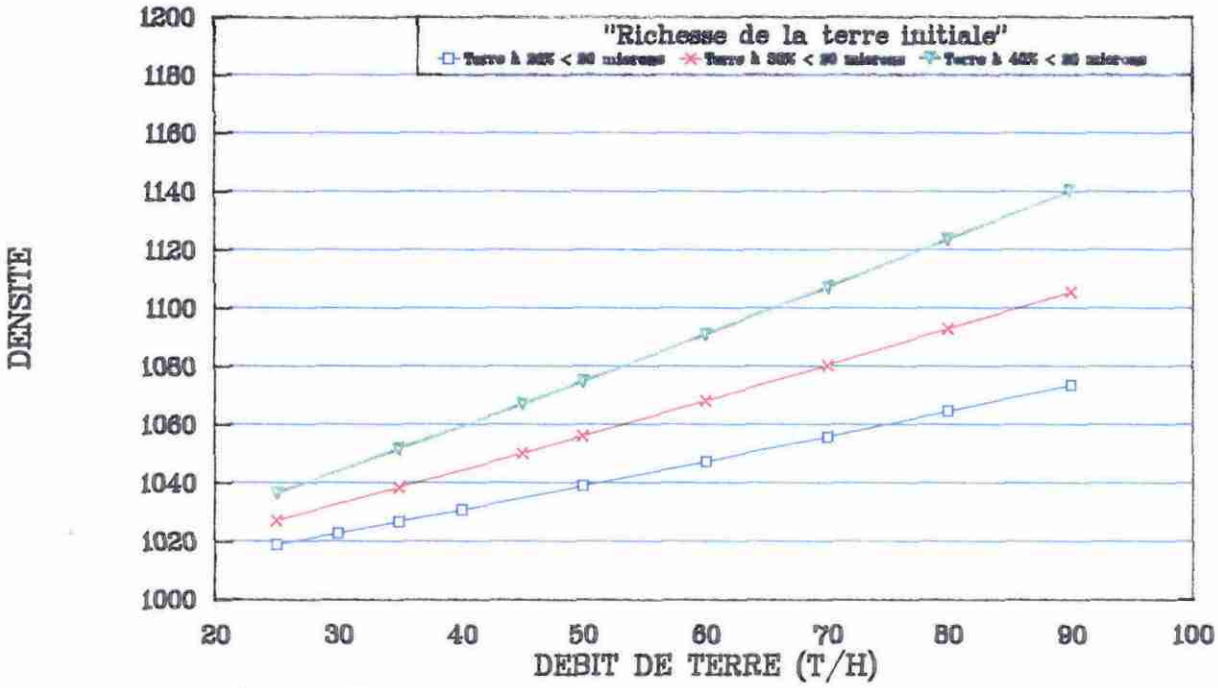
Résultats obtenus par simulation

VARIATION DU D50 REDUIT DU CYCLONE FLOTTATION
AVEC LE DEBIT DE TERRE
(pour différents taux d'inférieurs à 20 microns)
(dans le minerai initial)



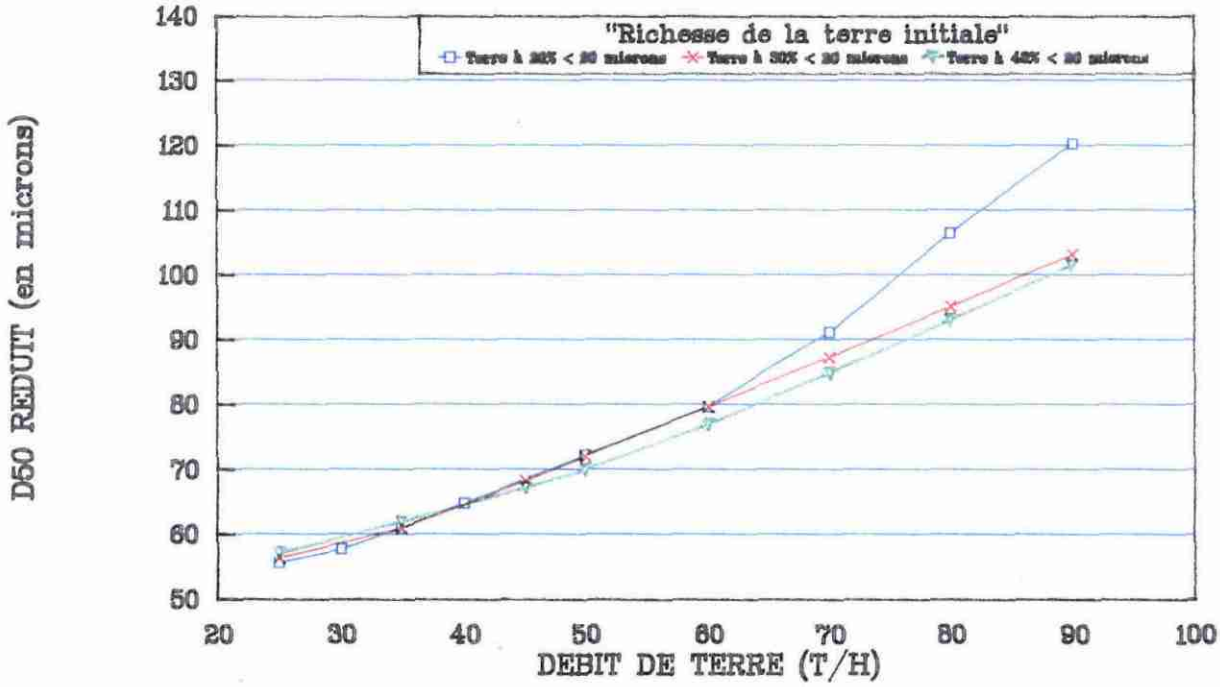
Résultats obtenus par simulation

VARIATION DE LA DENSITE EN SURVERSE
DES CYCLONES SECONDAIRES
AVEC LE DEBIT DE TERRE
(pour différents taux d'inférieurs à 20 microns)
(dans le minerai initial)



Résultats obtenus par simulation

VARIATION DU D50 REDUIT DU CYCLONE PRIMAIRE
AVEC LE DEBIT DE TERRE
(pour différents taux d'inférieurs à 20 microns)
(dans le minerai initial)



Résultats obtenus par simulation