

PRÉSIDENCE DU CONSEIL  
COMMISSARIAT A  
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

# Les problèmes de la préconcentration des minerais d'uranium par voie physique

par

L. VUCHOT, A. GINOCCHIO, G. HUBERT, E. ROQUES et J. SANDIER

Rapport CEA n° **1042**

CENTRE D'ÉTUDES  
NUCLÉAIRES DE SACLAY  
SERVICE DE DOCUMENTATION  
Boîte postale n° 2 - Gif-sur-Yvette (S.-et-O.)



VUCHOT L., GINOCCHIO A., HUBERT G., ROQUES E., SANDIER J.

Rapport CEA n° 1042

**Les problèmes de la préconcentration des minerais d'uranium par voie physique.**

**Sommaire.** — Après un aperçu des procédés classiques de concentration physique des minerais — granulométrie, gravimétrie, flottation, magnétisme et électrostatique, les auteurs s'attachent aux méthodes propres aux minerais radioactifs : préconcentration par lots (cylindre de comptage) ou caillou par caillou (bande de triage électronique). Les trois facteurs à considérer lors de toute opération de traitement sont étudiés (prix de revient de l'opération, rendement métal et rendement poids), ainsi que leurs répercussions sur les prix de revient et rendements des traitements ultérieurs.

L'utilisation de la radioactivité pour déterminer instantanément la teneur approximative des produits obtenus permet d'envisager de réduire les prix de revient et d'améliorer les résultats par une automatisation totale.

1958

21 pages

---

VUCHOT L., GINOCCHIO A., HUBERT G., ROQUES E., SANDIER J.

Report CEA n° 1042

**The pretreatment of uranium ores by physical processing.**

**Summary.** — After giving an outline of the classical means of physical processing — granulometry, gravimetry, flotation, magnetism, electrostatics, — the authors study the methods peculiar to radioactive ores : pretreatment in batches (counting cylinders) or stone by stone (electronic sorting belt). The three factors to be considered in any treatment operation are studied (cost of the operation, metal recovery, ratio of concentration), as well as their bearing on the cost and the productivity of the following operations.

Making use of radioactivity in order to find out instantaneously the approximate grade of the obtained product makes it possible to reduce costs and improve results by setting up total automation.

1958

21 pages



RAPPORT C.E.A n° 1042  
(CONF. 15/P/1257)

LES PROBLEMES DE LA PRECONCENTRATION DES  
MINERAIS D'URANIUM PAR VOIE PHYSIQUE

LE TRIAGE ELECTRONIQUE

par

MM. Lucien VUCHOT, André GINOCCHIO, Guy HUBERT  
Emile ROQUES et Jean SANDIER

ERRATUM

Page 1.

Le nom d'un auteur, Jean SANDIER, a été ajouté.



LES PROBLEMES DE LA PRECONCENTRATION DES  
MINERAIS D'URANIUM PAR VOIE PHYSIQUE

LE TRIAGE ELECTRONIQUE

par Lucien VUCHOT, André GINOCCHIO, Guy HUBERT et  
Emile ROQUES

A - GENERALITES

- a-1 : Comme la plupart des minerais métalliques, les minerais d'uranium ne sont pas des substances définies pouvant être traitées directement en vue de l'élaboration du métal.

Ces minerais ont des teneurs variables dans des limites très larges, de quelques dix millièmes à quelques centièmes de métal contenu.

D'autre part, ils peuvent être mélangés à des produits stériles de nature très variée, dont certains peuvent être nuisibles pour les traitements ultérieurs.

- a-2 : Afin de n'envoyer aux usines de traitement que des produits susceptibles de produire du métal dans de bonnes conditions économiques, les minerais de la plupart des métaux subissent des opérations de préparation.

Celles-ci ont pour but l'élimination d'une part des stériles, d'autre part des minerais dont la teneur est en-dessous de la limite économique de traitement.

Le procédé le plus couramment employé pour les minerais d'uranium, consiste actuellement en une hydrométallurgie acide ou basique, permettant de passer du minerai à un uranate de soude ou de magnésie, par exemple ayant une teneur variable entre 40 et 65 %, qui est susceptible de subir le traitement métallurgique proprement dit.

Mais le traitement hydrométallurgique est relativement coûteux et il existe une teneur limite au-dessous de laquelle l'opération de lixiviation n'est plus rentable. Au-dessous de cette teneur, il faut envisager une préconcentration par voie physique et rechercher la rentabilité de cette opération

D'autre part, les minerais uranifères sont mélangés à des produits stériles de nature très variée qui peuvent compromettre la réussite du traitement hydrométallurgique.

C'est le cas des argiles, presque partout présentes dans les gîtes hydrothermaux et dans les granites, qui peuvent soit rendre impossibles les opérations de décantation, de filtration ou de lavage sur filtre, soit conduire à des dépenses d'investissement disproportionnées avec l'importance des gisements et le tonnage traité.

C'est le cas également des calcaires, qui peuvent rendre inapplicable la lixiviation par voie acide par suite d'une augmentation par trop importante de la consommation d'acide.

Cette élimination de constituants gênants du minerai tout-venant est un deuxième motif de préparation du minerai par voie physique.

- a-3 Les méthodes de concentration ou de préconcentration physiques sont basées sur le fait que certaines caractéristiques physiques ont des valeurs différentes pour les minerais utiles et pour les minéraux stériles.

C'est le cas de l'aspect (schistes et charbons), de la forme (mica, amiante par rapport aux gangues), de la densité (cassitérite et quartz, wolfram et quartz, galène et gangues, etc ..), de l'hydrophilie en présence de certains réactifs (sulfures et gangues, phosphates et sables, charbons et schistes, etc ..), de la susceptibilité magnétique (magnétite et gangue, ilménite et gangue, etc ..), de la réactivité électrostatique (feldspath et quartz, monazite et ilménite, diamant et gangue etc..).

Ces différences permettent de faire des coupures en deux classes, soit minerais riches et stériles, ou en trois classes, soit minerais riches, mixtes et stériles.

Les mixtes subissent alors généralement un nouveau broyage suivi d'un traitement identique au précédent ou différent.

Dans la préconcentration, on se contente de faire une séparation en deux produits, mixtes et stériles ou exceptionnellement en deux mixtes à gangue différente subissant ensuite des traitements chimiques distincts adaptés à la nature de la gangue.

## B - METHODES COMMUNES A TOUS LES MINERAIS

- b-1 . Les procédés les plus couramment employés pour l'ensemble des minerais reposent sur :

- La classification granulométrique obtenue par tamisage sur cribles vibrants en utilisant la différence de forme du minerai utile et de la gangue.  
  
Le même procédé peut être basé sur une différence de résistance au concassage sélectif ou au broyage par attrition.
- La classification granulométrique peut être également obtenue par hydrocyclone entre 0,015 mm et 0,5 mm.
- La classification par gravité : c'est là le domaine le plus étendu quant aux différents procédés et appareils utilisés, différents d'ailleurs souvent pour les diverses granulométries traitées :
  - au-dessus de 6 mm : jig - milieux denses statiques.
  - de 6 mm à 0,5 mm : jig - cyclones à milieu dense - tables à secousses - spirales - lavo-dunes.
  - de 0,5 à 0,07 mm : cyclones à milieu dense - tables à secousses.
  - au-dessous de 0,07 mm : tables dormantes - panners - tables rondes.
- La classification par flottation qui est accomplie, soit en cellules de modèles divers, soit sur tables à secousses, soit enfin en spirales.
- La classification magnétique : d'un emploi beaucoup moins courant que les précédentes, elle est limitée aux substances ferro-magnétiques assez fortement paramagnétiques en grains inférieurs à 2 mm. Cette opération se fait, soit en milieu humide, soit à sec pour les substances les moins magnétiques.
- La classification électrostatique : réservée à des grains compris entre 1 et 0,07 mm.

#### Utilisation des méthodes classiques pour l'uranium

b-2 : Ces divers procédés de classification ont été étudiés et essayés dans nos laboratoires et ateliers pilotes. Nous avons obtenu des résultats intéressants et susceptibles d'applications industrielles dans les cas suivants :

#### 1°/ Séparation par tamisage :

- a) Dans l'exploitation de certains filons peu puissants et friables à épontes solides, le criblage à 120 mm, à la sortie de la mine, permet dans certains cas de multiplier la teneur par 1,5 avec un coefficient de récupération de l'ordre de 90 % par élimination des blocs supérieurs à 120 mm.

- b) Certains minerais présentant une minéralisation concentrée dans les cassures sont susceptibles après concassage et passage dans un broyeur à barres provoquant une attrition, de donner par simple tamisage un préconcentré à teneur multipliée par 3 avec un rendement métal de 88 à 90 %

2°/ Séparation gravimétrique :

- a) Les minerais d'uranothorianite de Madagascar sont tous traités au jig pour les grains de 1 à 10 mm et sur tables à secousses pour les grains plus fins.

Les résultats sont excellents car il y a très peu de mixtes de constitution et la différence de densité entre le quartz et l'uranothorianite est très grande (10 et 2,5).

- b) Les sables à monazite de Madagascar (0,07-1 mm) donnent sur table à secousse un concentré de monazite-ilménite-zircon avec un rendement de l'ordre de 95 % pour la monazite.
- c) Les moyens classiques gravimétriques (jigs, tables à secousses) n'ont pas donné de résultats intéressants pour les minerais courants d'uranium par suite de la proportion trop importante de mixtes et de la mauvaise qualité des coupures obtenues.

Par contre, le traitement en milieu dense soit statique (grains 6-30 mm), soit statique (grains 0,5-6 mm) nous a donné des résultats intéressants en augmentant le rendement global, traitement gravimétrique-flottation et en régularisant l'alimentation de la flottation tout en diminuant légèrement le tonnage de minerai à broyer finement.

Nous poursuivons actuellement les essais de traitement des grains compris entre 0,07 et 0,5 mm et nous avons déjà obtenu des résultats encourageants.

- 3 / La flottation nous a permis de traiter des tonnages importants de minerais à phosphate (parsonsite) et à pechblend et nous mettrons en route prochainement une installation pour le traitement de minerais pauvres à pechblende en vue de l'obtention d'un taux de concentration de 2 à 3 avec un rendement de 85 à 90 %.

4°/ La séparation électromagnétique :

Elle est utilisée actuellement sur les sables à monazite de Madagascar pour séparer l'ilménite du concentré global de table.

5°/ La séparation électrostatique :

Elle est également utilisée pour le traitement des sables à monazite de Madagascar pour séparer la monazite du zircon

Certaines de ces méthodes sont appliquées industriellement :

- pour la préconcentration de l'uranothorianite à Madagascar (jigs, cyclones, tables à secousses);
- pour la préconcentration de la monazite à Madagascar avec tables à secousses, séparation électromagnétique et séparation électrostatique;
- pour l'enrichissement des minerais de la mine des Bois Noirs (Forez) (milieu dense, flottation).

Le concassage et tamisage sélectif ont été utilisés à la mine de Bauzot (Grury); la flottation a été employée pour les parsonsites de Lachaux (Puy-de-Dôme); Ces deux derniers gisements sont actuellement épuisés.

### C - METHODES PROPRES AUX MINERAIS RADIOACTIFS

c-1 : A côté des méthodes de préconcentration applicables aux minerais non radioactifs, il était normal de penser à développer des méthodes particulières dérivant de la caractéristique propre aux minéraux uranifères qui est la radioactivité naturelle.

Le mérite des premières réalisations revient à LAPOINTE, du Département des mines d'Ottawa, qui appliqua son procédé à l'enrichissement des concentrés de great bear lake.

Des propriétés radioactives de l'uranium, il découle que celui-ci ne se présentera jamais seul dans la nature, mais accompagné de tous ses descendants. La proportion de ces derniers est d'ailleurs variable avec l'âge du minerai : l'équilibre radioactif n'étant atteint que pour les gisements les plus anciens, par suite de la période du radium ( $T = 1690$  ans) Seuls, les différents isotopes de l'uranium, sont les substances recherchées comme matière première. Ils sont émetteurs de rayons alpha mais sont heureusement accompagnés de descendants émetteurs de rayons gamma.

En effet, en pratique, les procédés de préconcentration utilisés pour enrichir les minerais d'uranium, sont appliqués à des cailloux (ou ensemble de cailloux) dont les dimensions ne sont jamais négligeables devant la longueur du parcours des rayons Alpha et Bêta, à l'intérieur de la matière. Il en résulte que la mesure des rayons Alpha émis par ces cailloux ne peut être envisagée. De nombreuses mesures utilisant les rayons Bêta de  $U_x$  pour caractériser la teneur des cailloux ont été effectuées. Dans certains cas, les résultats étaient encourageants, mais cette méthode n'a pu être utilisée industriellement par suite de l'auto-absorption de ce rayonnement dans le caillou entraînant des résultats incohérents suivant la forme de minéralisation considérée (minéralisation par placage ou diffuse).

- ① Skip en position de déversement.
- ② cylindre de mesure.
- ③ détecteurs.
- ④ Goulotte pivotante.
- ⑤ Peson.
- ⑥ trémie.
- ⑦ Trappe.

Rampe de déplacement du Skip.

axe du puit

la goulotte est télécommandée  
suivant la teneur  
du minerai.

— **Cylindre de Comptage** —  
croquis d'installation Générale

Pour ces raisons, le rayonnement gamma de forte énergie émis par le radium C dont le parcours dans la matière est très supérieur à celui des particules Alpha et Bêta, est le seul utilisable pour caractériser un caillou de dimensions géométriques non négligeables.

Comme indiqué précédemment, le nombre de rayons gamma émis par une quantité déterminée de minerais pendant l'unité de temps n'est suffisant pour établir sa teneur en uranium quo si le minerai est en équilibre. Dans les autres cas, il est nécessaire de connaître également la valeur du rapport Uranium qui le caractérise.

Radium

Notre première application de préconcentration en fonction de la radioactivité a été un tunnel à berlines ou à dumpers; cet ensemble est toujours utilisé dans les petites installations, notamment pour les chantiers de recherches.

La berline ou le dumper passe dans un tunnel portant sur son pourtour neuf tubes Geiger reliés à un intégrateur dont le milliampèremètre est directement gradué en chocs/seconde. Une courbe d'étalonnage, établie pour un rapport Uranium moyen permet de déterminer directement, en Radium fonction du nombre de chocs/seconde lus sur le milliampèremètre, la teneur du minerai contenu dans la berline.

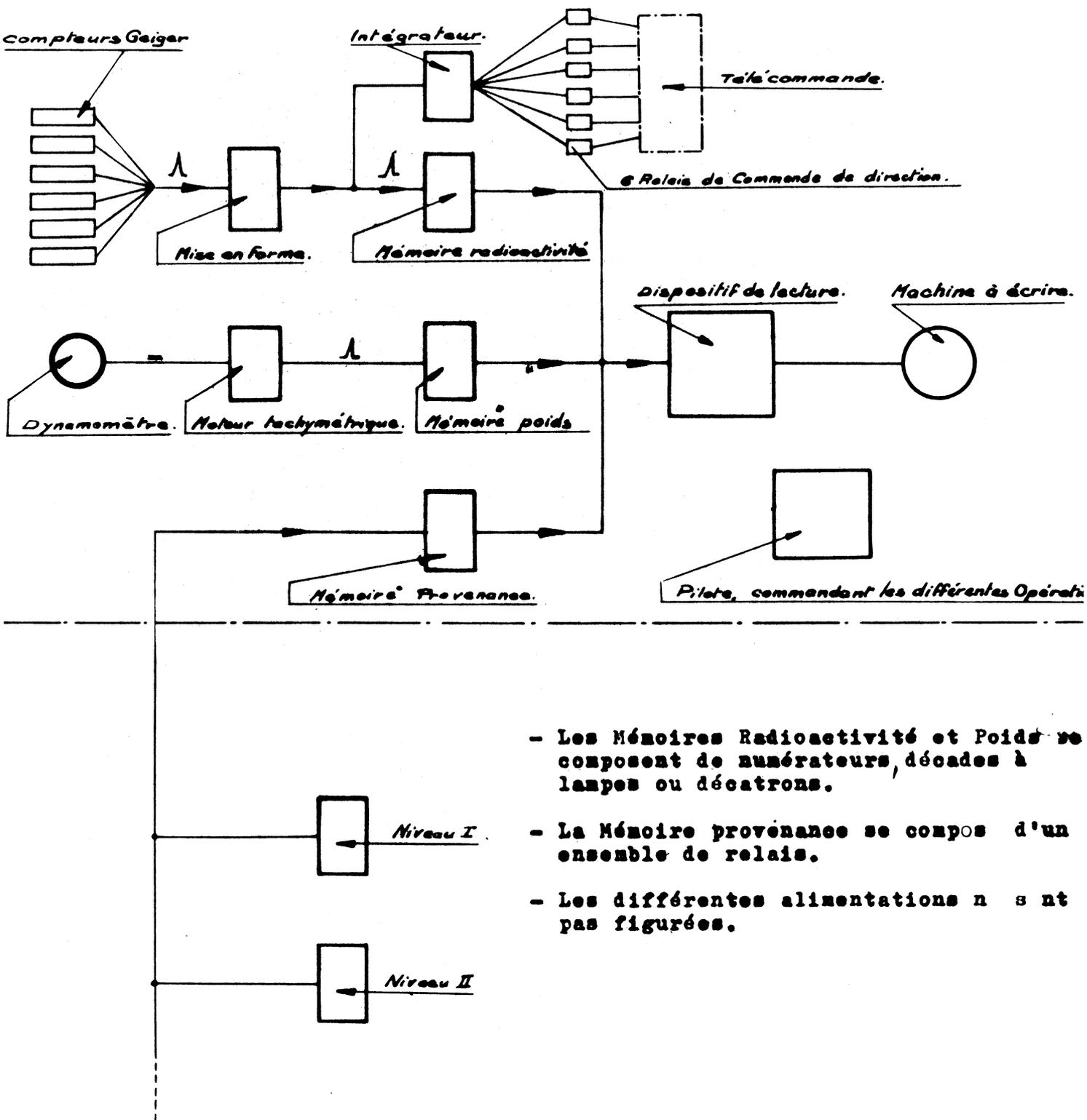
Dans les installations importantes, l'extraction s'effectue actuellement par skip; il ne peut être question de repasser en berline ou en dumper pour effectuer le triage par radioactivité et nous avons mis au point l'appareillage décrit ci-après et appelé cylindre de comptage.

c-2 : Cylindre de comptage.

Le but de ce cylindre est : d'une part, éliminer le stérile, classer le minerai en catégories de teneurs bien déterminées et enregistrer les données permettant d'obtenir le poids de minerai et le poids d'uranium; d'autre part, établir des bilans d'exploitation : déduire des informations enregistrées, teneur, poids, provenance, le poids de minerai et d'uranium extraits des différents chantiers.

Le minerai remonte de la mine dans un skip (figure ci-jointe), se déverse automatiquement dans un cylindre vertical (2) entouré de compteurs Geiger (3) et solidaire d'un dynamomètre (5). Les mesures de poids et de teneur terminées, la trappe (7) située au-dessous du cylindre s'ouvre et le minerai se déverse par une goulotte télécommandée (4) dans la trémie (6) correspondant à sa teneur.

En se déversant dans le cylindre, le skip déclenche le contact



- Les Mémoires Radioactivité et Poids se composent de numérateurs, décades à lampes ou décatrons.
- La Mémoire provenance se compose d'un ensemble de relais.
- Les différentes alimentations ne sont pas figurées.

— Schéma Synoptique du Cylindre de Contrôle —  
Cinq coupures

de démarrage d'un dispositif piloté chargé de commander différentes opérations suivant un programme pré-déterminé. Il commande le début et la fin des mesures de radioactivité et de poids, l'enregistrement de ces informations ainsi que de la provenance des skips et de la radioactivité ambiante. Il commande également le positionnement de la goulotte de répartition en fonction de la teneur du minerai, ouvre et ferme la trappe du cylindre.

Suivant la teneur du minerai à classer, la détection des rayons gamma est assurée par 4 ou 6 compteurs Geiger à halogène. L'angle de vision de ces compteurs, protégé de la radioactivité extérieure par des châteaux de plomb individuels et répartis autour du cylindre, n'intéresse que la partie de ce dernier qui est toujours pleine \*1 de minerais. Il en résulte que le nombre de gamma émis par le minerai et compté pendant un temps constant de 30 secondes pour chaque skip est indépendant du poids de minerai contenu dans le cylindre et ne dépend que de sa teneur. Les impulsions électriques fournies par ces compteurs sont envoyées sous basse impédance, d'une part vers une Mémoire composée de décades et de numérateurs; d'autre part, vers un intégrateur dont le niveau (proportionnel au nombre de gamma comptés par seconde) permet d'alimenter les différents relais de télécommande. Les seuils de commande de ces relais sont facilement réglables.

Le poids de minerai est obtenu à partir d'un anneau dynamométrique dont les déformations sont transmises à un micropotentiomètre par un comparateur. La tension de sortie de ce potentiomètre attaque un moteur tachymétrique dont le nombre de tours mesurés pendant 30 secondes est proportionnel au poids.

La provenance du minerai, affichée à partir de la recette de la mine est gardée en Mémoire dans un ensemble de relais placés en surface.

Au moment de l'inscription sur la machine à écrire, les informations de teneur, de poids et provenance sont en réserve dans leurs mémoires respectives. Après la lecture, toutes ces mémoires sont ramenées au zéro.

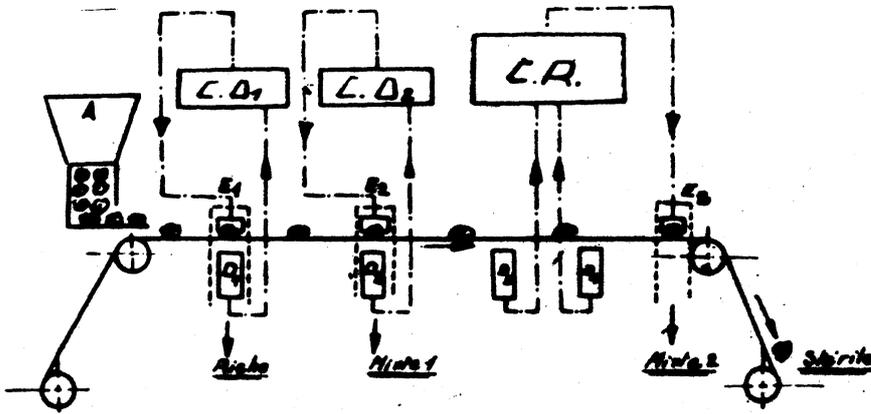
c-3

c-3-1: Triage caillou par caillou

La mesure de radioactivité est également appliquée au triage des cailloux des minerais d'uranium pris un par un. Le mi-

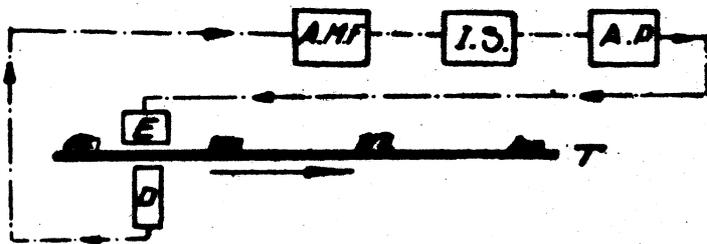
---

\*1- La position et la focalisation des détecteurs le long du cylindre est telle que le volume où se produit le cône de rem-plissage se trouve en dehors de l'angle de vision de ces détecteurs. Il s'ensuit que la quantité de minerai sur laquelle est faite la mesure de teneur est toujours la même. De plus, les conditions géométriques minerai-détecteur sont identiques à chaque mesure, ce qui constitue une amélioration importante par rapport au tunnel à berlines.



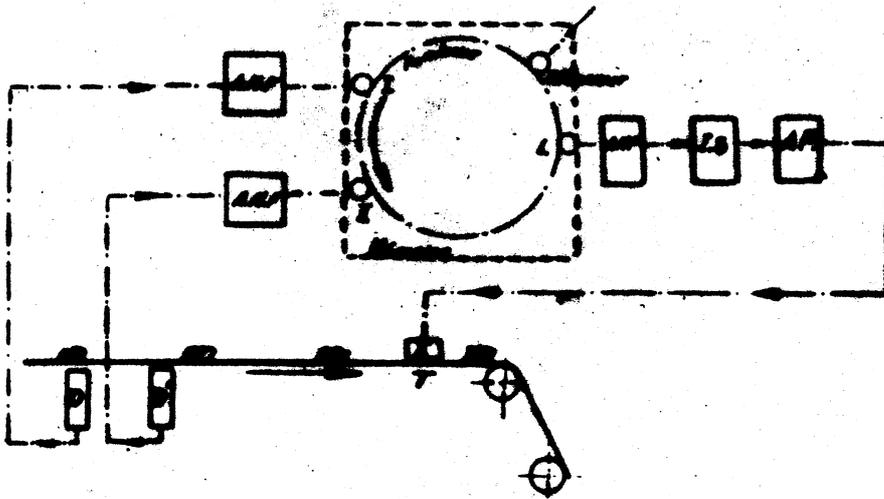
D. détecteur.  
E. Electrovanne.  
C.D. (commande directe).  
C.R. (commande retardée)

Fig 1 Schéma d'ensemble.



A.M.F. ampli mise en forme.  
I.S. Intégrateur à seuil.  
A.P. ampli de commande  
des électrovannes.

Fig 2 Commande directe (détail de CD1 et CD2)



A.M.F. ampli mise en forme.  
I.S. Intégrateur à seuil  
A.P. ampli de commande  
des électrovannes

Fig 3 Commande retardée (détail de C.R.)

**—Bandes de triage Electronique—  
(Triage à Seuil Constant)**

nerai à sa sortie de la mine est criblé, puis classé en différentes catégories suivant sa granulométrie. Chaque classe de caillou ainsi obtenue, de dimensions géométriques déterminées, est lavée, puis envoyée sur des appareils à soles tournantes et à vibreurs chargés de répartir les cailloux un à un sur les bandes transporteuses.

Au-dessous de chaque bande, sont placés un ou plusieurs détecteurs de rayons gamma, protégés chacun des rayonnements parasites par un château de plomb et commandant par une électronique appropriée, un éjecteur pneumatique.

Dans les premiers essais, les détecteurs étaient des compteurs Geiger. Leur rendement pour la détection des rayons gamma ne dépassant jamais 1 à 2 %, ils ont été abandonnés au profit des détecteurs à scintillation. Equipé d'un cristal d'iodure de sodium de 40 mm d'épaisseur, ou d'un plastique \*2 de 8 à 10 cm, plus de 60 % des gamma durs du radium C sont transformés en impulsions lumineuses. Pour les gamma mous diffusés par effet Compton dans les cailloux ou rétrodiffusés sur le plomb de protection du détecteur, ce pourcentage est encore supérieur.

c-3-2-1 : Triage à seuil constant

Les rayons gamma reçus par un scintillateur sont transformés en impulsions électriques. Ces impulsions (figure 2) sont mises en forme, puis intégrées. Si le nombre de ces impulsions pour un caillou déterminé dépasse un certain seuil préréglé, l'éjecteur rejette le caillou hors de la bande transporteuse, tandis que si sa radioactivité n'atteint pas ce niveau, le caillou continue son chemin sur le tapis. On a ainsi un procédé de triage.

Pour les cailloux calibrés de dimensions 50-70 mm, 70-90 mm et 90-120 mm, le dispositif actuellement utilisé (figure 1) comporte trois ensembles détecteur-éjecteur disposés les uns derrière les autres, au-dessous du même tapis. Les cailloux passent d'abord sous le détecteur n° 1 dont le seuil est réglé très haut (seuls, les cailloux très riches sont éliminés), puis successivement sous les autres dispositifs de détection dont les seuils sont réglés de plus en plus bas. On obtient ainsi quatre catégories de cailloux de teneur décroissante : riche, mixte 1, mixte 2, stérile. Les éjecteurs sont des vérins pneumatiques commandés par une électrovanne.

Une limite inférieure pour la dernière coupure, mixte 2-stérile nous est imposée :

1°/ par les rayonnements parasites dus aux radiations atmosphériques et à la pollution de l'usine par le minerai lui-même. Ce niveau de parasites peut être diminué en améliorant la protection du détecteur.

---

\*2- les plastiques sont composés de substances aromatiques.

2°/ par le caractère erratique de l'émission gamma \*3 qui obéit aux lois de calcul des probabilités. Cette erreur de fluctuation qui entache les mesures de radioactivité, se trouve diminuée si le temps de mesure est augmenté.

Sur la figure 1, les éjecteurs E1 et E2 (coupure riche et mixte 1) sont figurés au-dessus des détecteurs n° 1 et 2; la commande de ces éjecteurs est directe et instantanée (détail figure 2). Au contraire, sur cette même figure 1, l'éjecteur E3 (coupure mixte 2) est décalé par rapport aux détecteurs D 3 et D 4 qui lui correspondent; cette commande dite "retardée" (détail figure 3) permet d'abaisser la teneur de coupure du mixte 2.

En effet, il n'est plus nécessaire de prévoir dans le château de plomb de protection du détecteur, des ouvertures pour le passage de l'éjecteur et des cailloux éliminés; le niveau de parasites extérieurs, mouvement propre, est ainsi réduit. D'autre part, la mémoire qui retarde les signaux provenant du détecteur D 3 d'un temps égal à celui mis par un caillou pour aller de ce détecteur à l'éjecteur E 3 permet également d'additionner les impulsions provenant de plusieurs détecteurs. Ces additions correspondent à augmenter le temps d'exposition de chaque caillou sous le dispositif de détection, ce qui entraîne une diminution des fluctuations de mesure sans diminuer le débit du tapis.

Le retard à obtenir étant de plusieurs secondes, il était impossible d'utiliser une ligne à retard. Un tambour (figure 3) recouvert de peinture magnétique dont la vitesse de rotation est synchronisée avec celle du tapis transportant les cailloux défile devant des têtes inscriptrices I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, une tête lectrice L et une tête effaceuse. Les têtes ne touchent pas la matière magnétique, ce qui en évitant toute usure, assure une grande sécurité de fonctionnement. Un dispositif micrométrique tenant compte des dilatations parasites permet de régler l'entrefer tête-tambour.

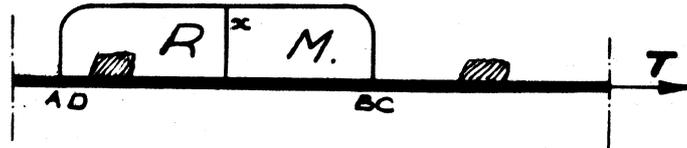
Cette mémoire relativement coûteuse, n'est utilisée que sur la dernière coupure mixte 2 - stérile, permettant ainsi de rejeter un minerai dont la teneur plus faible se rapproche du stérile franc.

#### c-3-2-2 Triage à temps d'intégration constant

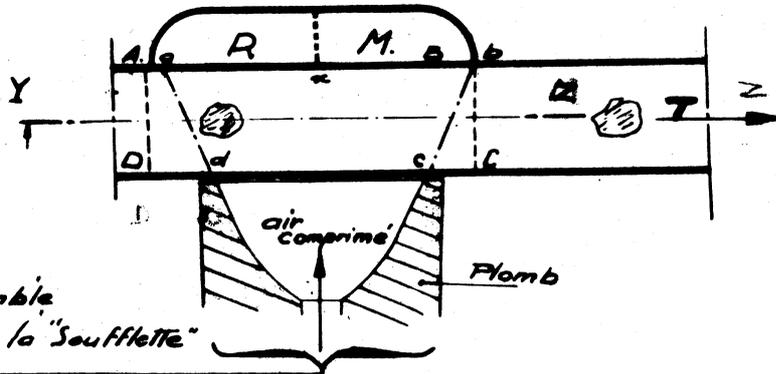
Pour des raisons de prix de revient, on utilise un mode de triage différent de celui indiqué au paragraphe ci-dessus pour les catégories de cailloux de dimensions inférieures à 50-70mm. En effet, le débit en minerais des bandes transporteuses diminue rapidement avec la granulométrie des cailloux, alors que le prix de l'électronique reste identique. Il en résulte une augmentation du prix de revient à la tonne de minerai traité.

---

\*3 - Etant donné un échantillon radioactif quelconque, si on mesure plusieurs fois le nombre de rayons gamma émis par ce caillou pendant des temps très courts, mais égaux, on trouve des nombres différents mais variant autour d'une valeur moyenne.



Vue de face Coupe Y.Z.



Ensemble con tituant la "Soufflette"

Vue de dessus

A.B.C.D: Angle de  
vision du détecteur.  
disposé en dessous du  
Tapis: T  
a, b, c, d surface balayée  
par la "Soufflette".

— Triage caillou par caillou. —

à temps d'intégration Constant

Pour les granulométries de 40-50 mm, 30-40 mm, ou 20-30 mm, on ne place qu'un scintillateur au-dessous de la bande transporteuse (figure 4). L'électronique est identique à celle décrite figure 2, mais l'électrovanne, au lieu d'actionner un vérin fonctionne en " soufflette " : le caillou est éjecté par un jet d'air sortant directement de l'électrovanne.

Soit a, b, c, d, la surface balayée par l'air comprimé; A,B, C,D, la portion de la bande transporteuse se trouvant dans l'angle de vision du détecteur, v la vitesse de la bande transporteuse, X la section de séparation des goulottes R et M.

Au passage d'un caillou, dans le champ du scintillateur, trois cas peuvent se produire :

- S'il est très riche, la charge du condensateur correspondante au seuil de déclenchement de la " soufflette " est atteinte en un temps inférieur au quotient du trajet AX par la vitesse, le caillou est envoyé dans la goulotte R (riche).
- S'il est moins radioactif, le temps nécessaire pour atteindre ce seuil sera compris entre  $\frac{AX}{v}$  et  $\frac{AB}{v}$ , le caillou est éjecté dans la goulotte mixte (M)
- La charge du condensateur n'atteint pas le seuil pendant le passage du caillou dans le champ du détecteur  $\frac{AB}{v}$ . Il continue son chemin et est éliminé comme stérile.

Dans ce dispositif, deux cailloux sont distants d'une longueur supérieure à A B, la constante de décharge résulte d'un compromis entre un retour rapide de la charge au niveau du mouvement propre entre deux cailloux et une décharge minimum au passage d'un caillou. A ces conditions, à l'aide d'un seul détecteur et d'une électronique réduite, on dispose d'un procédé de triage donnant trois produits : Riche, Mixte, Stérile.

### 3-2-3 . Résultats communs aux deux procédés de triage caillou par caillou.

Ces procédés de triage ne peuvent être appliqués qu'à certains minerais d'uranium composés de cailloux de teneurs différentes : plus cette différence sera grande, plus le triage sera facile. Ces conditions se trouvent remplies pour les gisements filoniens riches, mais étroits, dans lesquels les épontes sont stériles. Au contraire, les gisements sédimentaires importants, souvent de teneurs moyennes, mais régulières, sont peu favorables à ces triages.

Les tableaux donnés ci-après expriment quelques uns des résultats obtenus en atelier pilote qui nous ont conduit à la déci-

sion de réaliser une installation industrielle de triage caillou par caillou Celle-ci sera mise en service à la fin de l'été 1958 à la mine des Bois Noirs sur la division du Forez.

I - Catégorie 50-80 mm . Débit : 2,7 T/heure.

	% en poids	Teneur %	% métal
Riche	11,54	1,107	58,07
Mixte 1	18,13	0,305	25,16
Mixte 2	39,56	0,0806	14,47
Stérile	30,77	0,0168	2,3
Tout-venant	100,00	0,220	100,00

Rendement métal 97,7 % - Taux de concentration : 1,65  
Elimination de 30,77 % de stérile à 0,0168 % U, renfermant 2,3 % métal.

II - Catégorie 50-80 mm . Débit : 2,7 T/heure.

	% en poids	Teneur %	% métal
Riche	6	0,91	50,81
Mixte 1	7,27	0,278	18,81
Mixte 2	28,00	0,083	21,64
Stérile	58,73	0,016	8,74
Tout-venant	100,00	0,107	100,00

Rendement métal 91,26 % - Taux de concentration : 2,22  
Elimination de 58,73 % de stérile à 0,016 % avec 8,74 % métal.

III - Catégorie 80-120 mm . Débit : 5,45 T/heure.

	% en poids	Teneur %	% métal
Riche	1,6	0,488	11,1
Mixte 1	13,6	0,325	61,8
Mixte 2	18,9	0,074	19,7
Stérile	65,9	0,008	7,4
Tout-venant	100,0	0,071	100,0

Rendement métal 92,6 % - Taux de concentration 2,72  
Elimination de 65,9 % de stérile à 0,008 % renfermant  
7,4 % de métal.

IV - Catégorie 40-50 mm . Débit : 400 kg/heure

	% en poids	Teneur %	% métal
Concentré	35,5	0,082	86,8
Stérile	64,5	0,007	13,2
Tout-venant	100,0	0,030	100,0

Rendement métal 86,8 % - Taux de concentration : 2,45  
Elimination de 64,5 % de stérile à 0,007 contenant 13,2 %  
de métal.

V - Catégorie 40-50 mm . Débit : 225 kg/heure

	% en poids	Teneur %	% métal
Concentré	6,7	0,196	17,5
Mixte	55,1	0,101	73,0
Stérile	38,2	0,019	9,5
Tout-venant	100,0	0,0765	100,0

Rendement métal 90,5 % - Taux de concentration : 1,46  
Elimination de 38,2 % de stérile à 0,019 contenant 9,5 %  
de métal.

VI - Catégorie 30-40 mm . Débit : 210 kg/heure

	% en poids	Teneur %	% métal
Concentré	34,2	0,330	97,2
Stérile	65,8	0,005	2,8
Tout-venant	100,0	0,116	100,0

Rendement métal 97,2 % - Taux de concentration : 2,84  
Elimination de 65,8 % de stérile à 0,005 contenant  
2,8 % métal.

VII - Catégorie 20-30 mm Débit . 100 kg/heure

	% en poids	Teneur %	% métal
Concentré	35,2	0,174	79,25
Stérile	64,8	0,025	20,75
Tout-venant	100,0	0,077	100,0

Rendement métal 79,25 % - Taux de concentration : 2,25  
Elimination de 64,8 % de stérile à 0,025 contenant 20,75 %  
de métal.

### Contrôle

Les essais ont été faits en vue d'assurer une marche aussi automatique que possible des installations de préconcentration et de traitement, afin d'abaisser le prix de revient, d'une part par la diminution du personnel et, d'autre part, par la diminution de consommation par suite d'une meilleure utilisation des réactifs et de l'énergie.

En plus des techniques utilisées dans toutes les installations de laverie et de lixiviation, nous avons utilisé des techniques dérivant de l'utilisation de la radioactivité du minerai.

Dans l'avenir, il sera possible de réguler de manière automatique l'alimentation du produit à concentrer et ainsi d'opérer dans les meilleures conditions de rendement.

Le contrôle de la teneur du minerai peut se faire de manière discontinue par cylindre de comptage, de manière continue sur bande et sur pulpe.

#### 1°/ Contrôle par cylindre de comptage.

En dehors des installations de cylindre de comptage décrites au paragraphe C-2-2 et placées à la sortie du puits, nous avons réalisé des installations analogues mais simplifiées permettant de vérifier les opérations de triage électronique (détermination de la teneur des différents produits triés, Riche, mixte 1, mixte 2, stérile). Ces petits cylindres

de comptage ont une capacité variant suivant les modèles de 50 à 500 kg de minerai. Ce sont des appareils qui fonctionnent à poids constant. La mesure de radioactivité est faite automatiquement et enregistrée. A la fin de la mesure, la trappe de vidange du cylindre s'ouvre automatiquement et se referme, remettant l'appareil en position de remplissage.

Ce contrôle sur les stériles et sur les diverses classes de minerais triés par électronique permet d'assurer la régulation de la vitesse d'alimentation des bandes transporteuses.

2°/ Contrôle du minerai sur bande transporteuse.

Les cylindres de comptage placés à la sortie des puits classent le minerai en plusieurs produits de teneur croissante. Pour alimenter les usines de concentration avec un minerai de teneur moyenne déterminée, il est souvent nécessaire de mélanger convenablement deux de ces produits. Nous profitons pour contrôler ce mélange à l'entrée de l'usine de la bande transporteuse qui mène le minerai après concassage vers les broyeurs. A cet effet, une bascule intégratrice est placée en série avec un ensemble détecteur de rayons gamma le long du convoyeur. L'information provenant de la bascule intégratrice transformée en impulsions électriques (1 impulsion par 10 ou 100 kg) est gardée en réserve dans un numérateur mécanique ; il en est de même des impulsions provenant des détecteurs de rayons gamma. Un dispositif "pilote" à minuterie, déclenche l'enregistrement du poids et de la radioactivité à des intervalles constants. La durée de toutes les mesures étant identique, la radioactivité due au mouvement propre ambiant est représentée par une constante "M", soit : P et A les chiffres enregistrés à la fin d'une mesure et représentant le poids du minerai ainsi que son activité augmentée du mouvement propre "M".

Nous disposons d'une courbe d'étalonnage qui nous donne la teneur moyenne du minerai passé sur la bande transporteuse pendant la durée de la mesure en fonction du rapport  $\frac{A - M}{P}$

Connaissant ainsi la teneur moyenne du minerai et le débit moyen, il est possible de régler l'alimentation des broyeurs, donc celle de l'usine.

3°/ Contrôle des pulpes.

Dans les usines de traitement chimique, le minerai après broyage, passage dans les classificateurs et les bassins de décantation, se présente sous la forme de pulpe pour alimenter les cuves de pré-attaque. Pour obtenir le rendement optimum, il est nécessaire de connaître, le plus exactement possible, la densité et le débit des pulpes (poids de produits secs) ainsi que leur teneur.

A cet effet, une cuve et son dispositif de vannes sont placés

- entre le décanteur et la première attaque chimique On mesure
- la radioactivité donnée par un volume constant de pulpe d'où le poids d'uranium contenu dans la cuve.
  - le temps mis par la cuve pour se remplir jusqu'à un niveau constant, d'où le débit des pulpes.
  - le poids de volume constant de pulpe, d'où la densité de cette pulpe.

Nous pensons utiliser ces informations, débit de produits secs, densité et radioactivité pour réguler automatiquement l'alimentation des cuves d'attaque en acide, ainsi que la marche de l'épaississeur et établir des bilans de marche.

### CONCLUSIONS

Les minerais d'uranium, comme ceux de la plupart des autres métaux peuvent subir des opérations de préconcentration par voie physique. Du fait de leur nature, peu de ces minerais se prêtent bien à ces méthodes.

Il y a cependant lieu de remarquer que certains concassages sélectifs suivis d'opérations d'attrition conduisent à des bilans extrêmement favorables du point de vue économique, car elles permettent de rejeter avec une opération ayant un très bas prix de revient, une quantité importante de minerais contenant très peu de métal, ayant ainsi une teneur inférieure à la teneur limite de rentabilité de lixiviation. Certaines autres opérations simples sont rentables, ce sont les séparations gravimétriques des minerais lourds (monazites, uranothorianites).

Par contre, les opérations de préconcentration nécessitant un broyage plus fin que le broyage exigé par le traitement chimique ne sont, en général, pas rentables. Seules le sont certaines flottations pour lesquelles le prix de revient de l'opération supplémentaire de broyage et la perte de métal rejeté dans les stériles sont nettement inférieurs aux économies faites en envoyant moins de stériles à l'usine chimique, dans les cas de minerai au-dessous de la teneur limite de lixiviation, ou certaines flottations faciles pour des minerais au-dessous de cette teneur limite.

Enfin, dans les cas où l'on dispose de deux procédés de traitement chimique, l'un à bas prix de traitement à la tonne et rendement peu poussé, l'autre avec un prix de revient à la tonne traitée légèrement supérieur, mais avec un rendement plus élevé, on peut être amené à faire un écrémage du minerai, c'est-à-dire à retirer la partie la plus riche du minerai primitif et l'envoyer dans une usine à rendement de traitement élevé. Cette opération est possible avec certains minerais par une opération de séparation en milieu dense dont le prix de revient à la tonne traitée est relativement bas.

A côté de ces méthodes communes à tous les minerais, la radio-activité de l'uranium a permis de créer une nouvelle technique qui est, dans de nombreux cas, particulièrement rentable.

En effet, l'opération de triage électronique donne, pour un prix de revient relativement bas, un taux de concentration assez élevé et permet ainsi d'éliminer des quantités de minerais importantes en ne rejetant qu'une quantité d'uranium relativement faible.

Les résultats obtenus lors des essais nous ont conduits à équiper nos puits de cylindre de comptage éliminant les stériles dans tous les cas, et en plus, à la mine des Bois Noirs dans le Forez, opérant une séparation en diverses classes de teneurs. L'usine de l'Ecarpière, ainsi que celle de Bessines, actuellement alimentées directement en minerais primitifs, sont conçues de manière à pouvoir détourner une partie ou la totalité des minerais pour les préconcentrer par voie physique classique ou par voie électronique.

Enfin, l'ensemble minier du Forez sera réalisé de manière à profiter au mieux de l'aptitude du minerai à la séparation des riches par milieu dense et surtout, ce qui est la caractéristique originale de cette usine, à éliminer le maximum de stériles par triage électronique, caillou par caillou, après évidemment une classification par teneurs à la sortie du puits.

UN EXEMPLE DE PRECONCENTRATION  
L'ENSEMBLE MINIER DU FOREZ

---

La mine des Bois Noirs, dans le Forez, produit des minerais de teneurs allant de quelques dix-millièmes à quelques centièmes. Ces minerais se prêtent bien, d'une part à la séparation des riches par milieu dense, d'autre part au triage électronique. Accessoirement, ils sont aptes à la flottation.

A leur sortie du puits, les minerais passent dans un cylindre de comptage qui les classe dans les tranches de teneur suivante : stériles francs, minerais pauvres, minerais moyens, minerais riches. Ces derniers sont envoyés directement à une usine centrale de traitement des riches qui a un rendement plus élevé que l'usine locale de traitement. Les minerais moyens passent dans un circuit où un appareil séparateur en milieu dense retire la partie riche en vue de son envoi à l'usine de traitement des riches. Les minerais pauvres sont, après débourbage et criblage, envoyés soit à l'atelier de traitement par triage électronique (grenus) soit à la flottation (fins).

Le triage électronique produit un peu de riches envoyés à l'usine centrale de traitement des riches, une certaine quantité de minerais mixtes et des stériles francs. La quantité importante des stériles francs éliminés par l'électronique rend cette opération particulièrement rentable.

Les mixtes provenant de la ligne de traitement par milieu dense sont broyés et envoyés à l'usine chimique. Les mixtes du triage électronique sont, soit envoyés directement au broyage principal, et de là à l'usine chimique, soit broyés plus finement et concentrés par flottation. Une installation annexe de flottation permettra ainsi de valoriser certaines tranches de grains de minerais pauvres et de fines. Divers circuits sont prévus et seront utilisés en fonction de la répartition des quantités de minerais dans les diverses classes de teneurs. Le schéma ci-joint donne un exemple de marche possible.

- - - - -

