

III.4.6 Séparation radiométrique

III.4.6.1 Tri automatique

Le tri mécanisé (enrichissement radiométrique) est utilisé pour le pré-enrichissement, ainsi que pour des opérations de concentration principales et auxiliaires pour des minerais ferreux, non ferreux, rares et nobles, des minéraux contenant des diamants et autres minéraux non métalliques (Avdokhin, V.M.2006).

Avec l'aide de l'enrichissement radiométrique plusieurs tâches technologiques de base peuvent être résolues (Polkin, S. I.1987).

1. Pré-enrichissement des minerais (gros morceaux). Comme l'a montré la pratique, le pré-enrichissement permet de réduire de 20 à 50% le volume de minerai entrant dans le broyage et le traitement ultérieur. En outre, il augmente la teneur du composant précieux dans les matières premières traitées et, par conséquent, l'extraction globale de ce composant dans le concentré. L'enrichissement radiométrique est largement utilisé pour l'enrichissement préliminaire de minerais d'uranium, de béryllium, d'or et de minerais non métalliques.

2. Séparation préliminaire des minéraux en catégories distinctes, qui sont traitées plus efficacement selon différents schémas. Par exemple, l'enrichissement radiométrique permet d'abord au traitement du minerai de cuivre d'allouer une fraction riche en gros morceaux qui peut être immédiatement envoyée à la fusion et une fraction pauvre qui sera enrichie par flottation puis fondue.

3. Obtention de concentrés grossiers. Pour certains procédés métallurgiques, des matières premières à gros morceaux sont nécessaires. L'enrichissement radiométrique permet d'obtenir des concentrés de fer, de chrome, de manganèse de grande taille, qui peuvent être envoyés à la fonte sans aucune préparation supplémentaire.

III.4.6.2 Bases physiques du processus

Les méthodes radiométriques d'enrichissement sont basées sur les différences dans la capacité des minéraux à émettre, réfléchir ou absorber les rayonnements.

Il existe deux types d'enrichissement radiométrique: l'enrichissement des minerais radioactifs, dont les minéraux émettent des rayonnements, et l'enrichissement de minerais non radioactifs dont les minéraux ne possèdent pas de radioactivité naturelle.

Dans le premier cas, la caractéristique de séparation est l'intensité du rayonnement naturel des minéraux séparés. La seconde nécessite une source de rayonnement primaire, et la caractéristique de séparation est l'intensité du signal secondaire d'interaction de ce rayonnement avec les minéraux qui sont séparés.(Nikitin, M.V.2001).

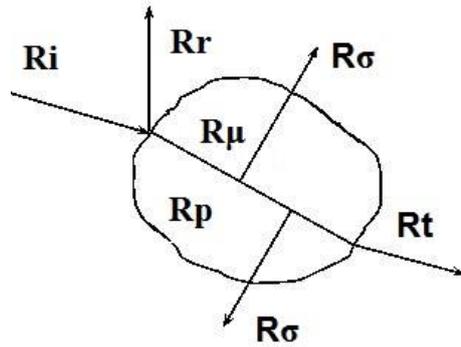


Figure. III.2 Schéma de passage des rayonnements à travers une roche.

Ri: Rayonnement initial;

Rr: Partie du rayonnement réfléchi par la surface du morceau ;

Rp: Partie du rayonnement pénétrant la roche ;

R μ : Partie du rayonnement, absorber par la roche ;

R σ : Partie des roches dispersées de rayonnement ;

Rt : Partie du rayonnement transmis à travers la roche.

-L'intensité et la nature du signal secondaire dépendent des propriétés du minéral. Un diagramme schématique montrant le passage du rayonnement à travers une roche est montré à la figure III.2.

Pour l'interface air-roche, l'égalité suivante est la suivante:

$$Ri = Rp + Rr.$$

D'où :

$$Rp = R\sigma + R\mu + Rt.$$

Alors :

$$Ri = Rr + R\sigma + R\mu + Rt.$$

Si nous divisons les deux côtés de l'équation par Ri, nous obtenons:

$$1 = r + s + m + t,$$

Où :

r, s, m, t sont les coefficients de réflexion, de diffusion, d'absorption, de transmission.

Selon la nature du passage du rayonnement à travers la substance, les méthodes de tri se distinguent selon la Figure III.2:

A - tri radiométrique avec utilisation de rayonnement réfléchi;

B - tri radiométrique utilisant un rayonnement diffusé;

C - tri radiométrique utilisant le rayonnement transmis (méthode d'absorption);

D - tri radiométrique utilisant le rayonnement généré par la particule (méthode radiométrique).

La méthode radiométrique ne nécessite pas l'utilisation d'une source de rayonnement, car elle utilise une différence de radioactivité naturelle des minerais.

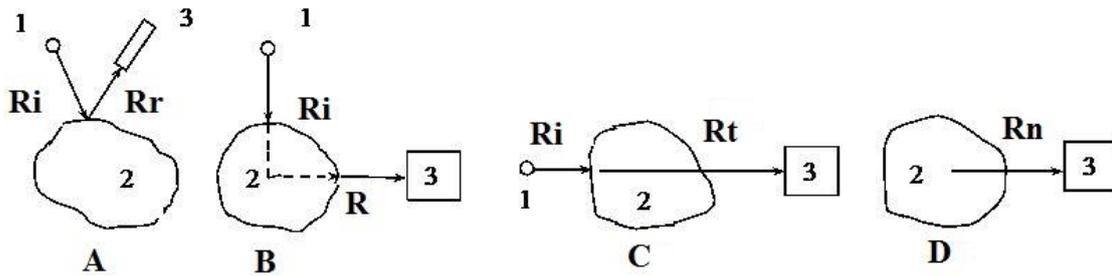


Figure III.3 Différentes méthodes de tri.

1 - source de rayonnement 2 – échantillon de minerai; 3 - récepteur de rayonnement

De plus, sous l'influence d'une source de rayonnement externe dans certains minéraux, une radioactivité artificielle (induite) est induite ou une luminescence lumineuse est excitée. Dans ce cas, des méthodes de tri radiométrique sont utilisées en fonction de la détermination de l'intensité du rayonnement généré par les minéraux (Samoilik V. G. 2015).

Lors de la séparation des particules minérales, n'importe laquelle de ces méthodes peut être utilisée.

Le tri radiométrique pour des sources externes utilise le rayonnement dans une large gamme de longueurs d'onde (I):

- g - rayonnement ($I < 10^{-3}$ nm);
- b - rayonnement ($I = 10^{-3} - 10^{-2}$ nm);
- Neutron ($I = 10^{-2} - 10^{-1}$ nm);
- Rayons X ($I = 5 \times 10^{-2} - 10$ nm);
- Ultraviolet ($I = 10^2 - 3.8 \times 10^2$ nm);
- Lumière visible ($I = 3.8 \times 10^2 - 7.6 \times 10^2$ nm);
- Infrarouge ($I = 7.6 \cdot 10^2 - 10^4$ nm);
- Onde radio ($I = 10^5 - 10^{14}$ nm).

Les caractéristiques des différentes méthodes d'enrichissement radiométrique, en fonction de la méthode de tri et du rayonnement utilisé, sont données dans le Tableau. III.1.

Tableau III.1 Classification des méthodes radiométriques de traitement des minerais.

Méthode	Phénomènes sous-jacents à la méthode	Domaine d'application
Auto radiométrique	Radio-compétence naturelle, qui donne lieu à des rayonnements pénétrants	Uranium, thorium et minerais contenant d'autres minéraux radioactifs
Photo-neutron	Une réaction nucléaire qui se produit lorsque le rayonnement gamma est exposé à des minéraux, ce qui entraîne un flux de neutrons	Minerai de béryllium

Luminescent	Excitation de la luminescence des minéraux par rayons ultraviolets, rayons X ou rayons gamma	Diamant, chéilite, fluorite et autres minerais
Photométrie	Les différences dans les propriétés des minéraux reflètent, transmettent ou réfractent la lumière visible	Minerais non métalliques, aurifères, sulfurés et autres
Neutron-activation	Les réactions nucléaires qui se produisent lorsque les minéraux sont exposés à des flux de neutrons, entraînant la formation de minéraux radioactifs qui se désintègrent, émettent des rayonnements bêta et gamma	Aluminium, cuivre, fer, manganèse, fluorite et autres minerais
gamma absorption	Absorption photoélectrique du rayonnement X ou gamma	Minerais contenant des éléments chimiques lourds
Absorption des neutrons	Capture, diffusion et décélération des neutrons par des noyaux d'éléments chimiques	Bore, terres rares, lithium et autres minerais
Radiographie radiographique (fluorescence X)	L'excitation des rayons X ou les sources du rayonnement gamma du rayonnement X caractéristique des atomes des éléments	Minerais de métaux, non ferreux et précieux, bauxite, quartzite et autres minerais

Un diagramme schématique de l'enrichissement radiométrique est représenté sur la Fig. 1.6. Sur le minerai, déplacé dans l'espace (3), tout rayonnement de la source (1) agit; le signal résultant de l'interaction des minéraux avec ce rayonnement est capturé par le récepteur (4); l'information est transmise à un dispositif de radiomètre spécial (5) où la commande à l'actionneur (6) est guidée et amenée à la pièce soit dans le récipient de concentré, soit dans le collecteur de déchets. Pour l'écrêtage de signaux étrangers, le schéma prévoit l'installation de filtres (2).

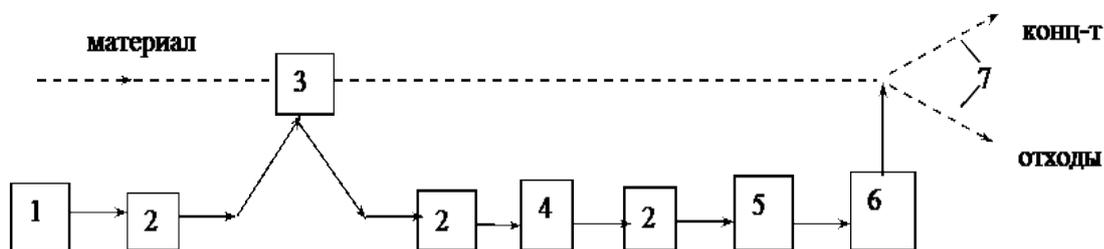


Fig. 1.6. Schéma de tri des minéraux

1 : source d'exposition; 2 : élément filtrant; 3 : objet (partie, particule, pièce); 4 : récepteur d'exposition; 5 : nœud de traitement d'informations; 6 : nœud pour la sortie d'une partie (objet) du flux; 7 : trajectoire du mouvement des objets

Dans le cas de l'enrichissement autoradiométrique, le schéma est grandement simplifié, car il n'y a pas besoin d'une source de rayonnement primaire (les minéraux radioactifs eux-mêmes émettent des radiations).

Les principaux facteurs influençant les indicateurs d'enrichissement radiométrique sont: les caractéristiques du minerai, la qualité de l'appareillage utilisé et la caractéristique du schéma d'enrichissement utilisé. Les caractéristiques du minerai comprennent la teneur du composant précieux, la distribution de la taille des particules, la distribution du composant précieux dans les morceaux de minerai et entre les pièces. Le contenu des principaux composants et des composants précieux qui l'accompagnent affecte l'efficacité de l'enrichissement. Particulièrement efficace est l'enrichissement radiométrique des minerais avec une faible teneur du composant précieux; Dans ce cas, on peut s'attendre à un rendement important de queues à gros grains. Les procédés radiométriques, comme les procédés moins coûteux, permettent de réduire les conditions existantes pour la maintenance de composants de valeur, d'impliquer des minerais non standards, dilués et déséquilibrés dans un usage industriel.

Le contenu minimal (limite) d'un composant précieux est déterminé par le développement de la technologie d'enrichissement, ainsi que par des facteurs économiques.

La distribution de la taille des particules affecte la sélection du schéma de tri. Pour la plupart des séparateurs, le module du matériau enrichi est $D_{\max}/d_{\min} = 2$. Par conséquent, le matériau initial doit être divisé en 5-7 classes, qui sont enrichies séparément. Les limites maximale et minimale de la taille des classes soumises à la séparation radiométrique dépendent de la méthode radiométrique utilisée et des caractéristiques du pansement:

- 300 à 50 mm - lorsqu'il est séparé par radioactivité naturelle et induite;
- de 200 à 25 mm - lorsqu'ils sont séparés par des méthodes d'absorption;
- de 150 à 5 mm - lorsqu'ils sont séparés par des méthodes photométriques;

Lorsque le matériau est plus fin que la limite inférieure de la taille des grains, il est dirigé vers l'enrichissement par d'autres méthodes.

Le contraste de minerai est l'une des caractéristiques technologiques les plus importantes qui déterminent les indicateurs d'enrichissement. Le contraste caractérise le degré de différence entre les morceaux de minerai en ce qui concerne la teneur en un composant précieux et dépend principalement des propriétés naturelles du minerai, des conditions d'extraction et de sa préparation préalable à l'enrichissement (Tikhonov, E.E., et al 2004).

Dans les minerais parfaitement contrastés, le composant utile est concentré en morceaux constitués uniquement du composant utile. Dans les minerais à très faible contraste, la teneur en composant utile de tous les morceaux est la même et égale à celle du minerai.

Une évaluation quantitative du contraste est réalisée à l'aide de la valeur de l'indice de contraste, définie comme étant l'écart relatif moyen de la teneur en composant utile des morceaux de minerai par rapport à sa teneur moyenne dans le minerai:

$$M = \frac{\sum_{i=0}^n (y_i - \alpha) q_i}{\alpha}$$

où

α : est la teneur moyenne du composant utile dans le minerai, %;

y_i : la teneur moyenne du composant utile, dans des morceaux séparés d'échantillon, %;

q_i : est la fraction massique du morceau dans la masse totale de l'échantillon, en fraction d'unités.

Par la valeur du rapport de contraste, le minerai est divisé en:

- très légèrement contrasté, $M = 0 - 0,5$;

- légèrement contrasté, $M = 0,5 - 0,7$;

- contraste moyen, $M = 0,7 - 1,1$;

- fortement contrasté, $M = 1,1 - 1,5$;

- très fortement contrasté, $M = 1,5 - 2$.

Le premier type de minerai n'est pratiquement pas enrichi, le second est faiblement enrichi, avec l'enrichissement du troisième on peut s'attendre à de bons résultats, ces deux derniers étant appelés minerais enrichis.

III.7 Technique d'utilisation pour l'enrichissement radiométrique

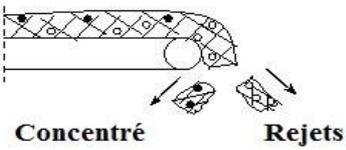
Lors de la préparation d'un minéral utile pour la séparation radiométrique, deux problèmes sont résolus:

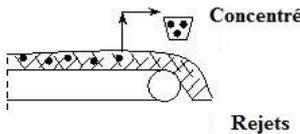
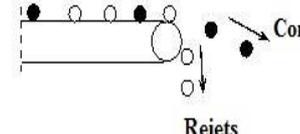
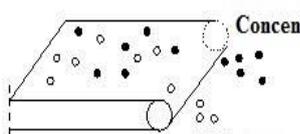
1. Assurer un effet maximal de l'opération de séparation;
2. Assurer un flux normal (efficace) du processus de séparation.

La première tâche est accomplie en préparant le matériau par la taille et en formant le flux de matériau; la seconde est en préparant la surface des particules triées. Dans la préparation de minéraux utiles selon la taille, des opérations de concassage et de criblage sont utilisées. Le but du concassage est d'amener à une taille spécifiée avec l'information maximale des composants du minéral. La taille du matériau enrichi par le tri est de 5-300 mm, décomposé en classes de taille étroites avec le module 2-3.

La formation du flux de matière dépend du mode de séparation adopté. Dans le tableau. III.2 montre les caractéristiques des principaux modes de formation de flux de transport en séparation radiométrique (M., Nedra, 1983).

Tableau III.2. Caractéristiques des modes de séparation radiométrique

Schéma de tri	Mode	Champ d'application
 <p>Concentré Rejets</p>	Débit - portion	Tri de petites portions

	Flow – grumeleux (rugueux)	Échantillonnage de pierres précieuses, métal, roche
	jet	Matériau classé de minéral et de minéraux non métalliques
	Morceau plat	Matériau classé de minéral et de minéraux non métalliques

La formation de flux de matières en vrac comprend les opérations suivantes:

- formation des distances spécifiées entre les morceaux;
- assurer une vitesse de déplacement stable des morceaux;
- assurer la continuité du processus de tri;
- régulation de la performance;
- stabilisation de la trajectoire du morceau.

La principale exigence pour les dispositifs permettant de former un flux de matière est de garantir un intervalle spécifié entre les pièces lors de leur transport. Ces exigences découlent du fait que les morceaux proches ne doivent pas être perçus comme une seule et ne doivent pas être déformés. Les dispositifs de formation de flux constituent 80% de la surface du séparateur (Kuskov, V.B.2002).

La stabilisation du taux de passage, de la distance entre la zone de radiation la zone de sélection des morceaux est déterminée par la nécessité de retarder les signaux de commande en même temps. La continuité du processus et la régulation de la productivité sont assurées par la présence d'un bunker dans les séparateurs. Le bunker est équipé d'un amortisseur qui régule la taille à la sortie. Le matériau peut être déchargé par gravité, vibration, centrifugation, frottement.

La stabilisation de la trajectoire de mouvement de la pièce est assurée par le mouvement des particules avec la bande dans la zone de détermination de la variété et du choix du morceau (figures).

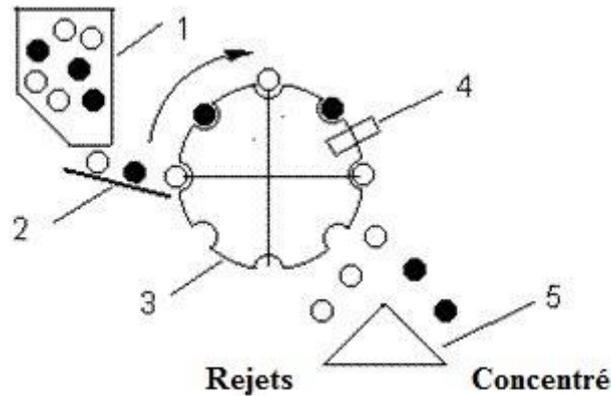


Figure III.4 Formation déterministe de la trajectoire du matériau

1- Trémie, 2- Alimentateur, 3- Convoyeur, 4 - Zone de détermination de la catégorie des minerais

Dans ce cas, les pièces sont situées sur la même ligne dans le même plan. Des dispositifs de ce type sont utilisés pour des matériaux de forme régulière, par exemple sphériques, de petite taille, à faible productivité (figure III.4).

Dans les dispositifs de mise en forme statistique de l'avance d'alimentation, une distance donnée entre des pièces adjacentes est fournie lorsque le matériau est transféré d'un dispositif de transport à un autre, en se déplaçant à une vitesse plus élevée (figure III.5). Le déplacement des particules sur une seule ligne est réalisé en profilant le dispositif de transport.

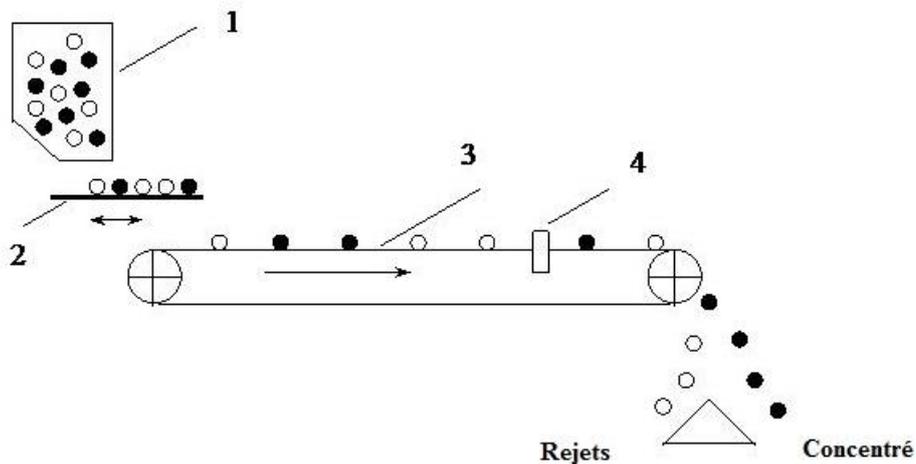


Figure III.5 Formation statistique de la traversée du matériau.

1- Trémie, 2- Alimentateur, 3- Convoyeur, 4 - Zone de détermination de la catégorie des minerais

Les dispositifs pour la formation statistique d'une alimentation à lame plate sont utilisés pour des matériaux avec des pièces de forme irrégulière et fournissent la plus grande productivité, car le matériau est dispersé dans tout le plan du dispositif transporté. Exemple: séparateur RS-24 (24 canaux).

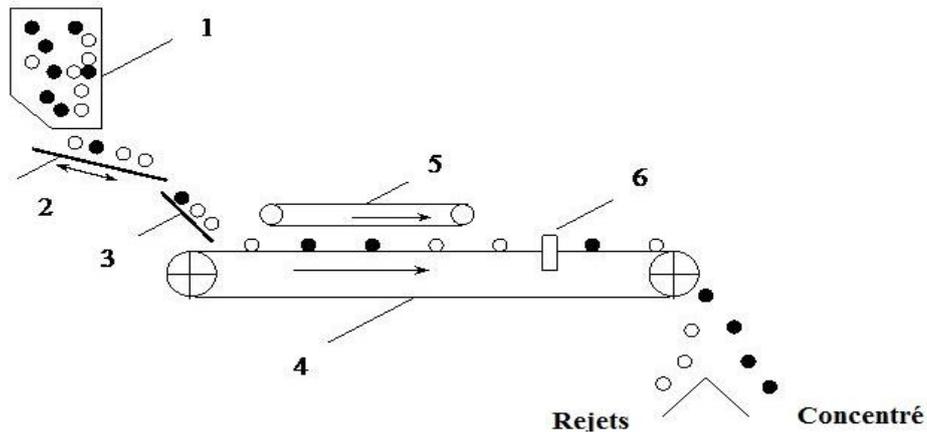


Figure III.6 Formation statistique de l'alimentation des matériaux soufflés à plat

Dans ce schéma, le matériau de la trémie (1) est déchargé au moyen du dispositif d'alimentation vibrant (2) pour l'accélération du morceau - la plaque inclinée (3) avec un faible coefficient de frottement, d'où il vient à une bande transporteuse plate (4). Pour empêcher les particules de rouler sur le convoyeur, un silencieux à bande (5) est utilisé.

La deuxième tâche, qui détermine le comportement efficace du processus de séparation, est réalisée en préparant la surface de la particule. Ceci est particulièrement important pour les méthodes utilisant le rayonnement de bande optique. La contamination de la surface des particules aggrave leur réflectivité.

Deux méthodes de préparation de surface sont utilisées:

- rinçage (éventuellement avec séchage);
- impact sur les particules de vibration avec aspiration de la poussière.
- Augmenter les différences de propriétés utilisées dans le tri, ou les créer (si nécessaire).

Les opérations de dépoussiérage et de rinçage peuvent être effectuées à l'extérieur du séparateur ou à l'entrée du séparateur dans la zone de formation de l'alimentation (figure III.7).

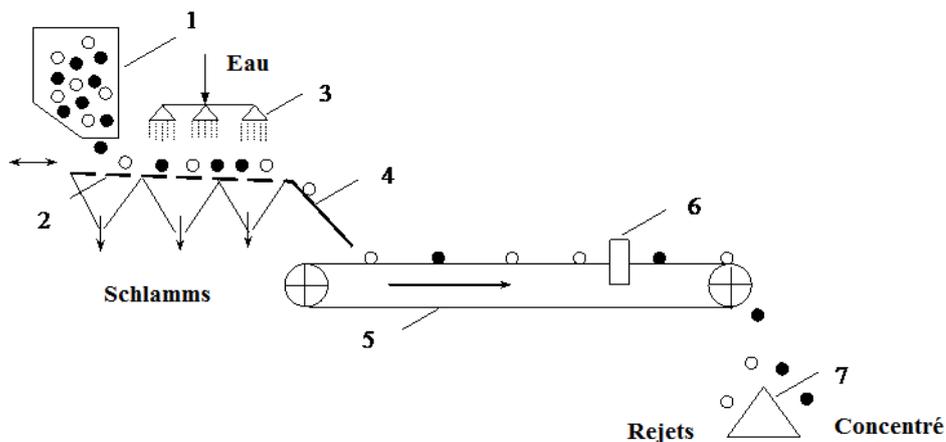


Figure III.7 Formation statistique de l'alimentation avec lavage du matériau:

1 - bunker; 2 - alimentateur vibrant; 3 - saupoudré; 4 - accélérateur; 5 - convoyeur; 6 - zone d'identification du grade; 7 - Zone de séparation des particules

Pour améliorer le contraste, parfois le traitement est effectué avec des réactifs spéciaux qui agissent sélectivement sur les particules, en formant un film coloré sur eux. Parfois, il est nécessaire de sécher le matériau pour améliorer la stabilité de la trajectoire des particules dans la zone d'identification du grade.