2.4 Méthodes électrostatiques

Lorsqu'une particule chargée électriquement est à proximité d'une électrode positive et d'une électrode négative, elle sera attirée par celle qui est de signe contraire et repoussée par celle qui est de même signe. La figure 1 illustre ce comportement ainsi que la nécessité d'utiliser une tension continue pour un traitement électrostatique; autrement, le changement de signe systématique du plus au moins, caractéristique des tensions alternatives, ferait changer du plus (+) au moins(-) le signe de chaque électrode, de sorte qu'un traitement serait impossible

La séparation électrostatique est une séparation physique basée sur les différences en propriétés électrostatiques des particules minérales. Parmi les méthodes électrostatiques les plus utilisées actuellement sont les méthodes électrophorétiques et les méthodes électrodynamiques sont les plus populaires.

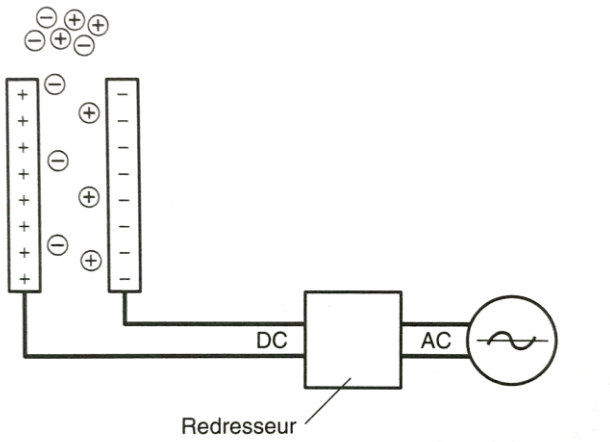


Figure 1.Principe de base du traitement électrostatique

2.4.1 Méthodes électrodynamiques

Avec une méthode électrodynamique, les particules de minerai sont chargées artificiellement à l'aide d'un courant électrique établit entre une électrode chargeante, qui est généralement un fil de petit diamètre, et une électrode de mise à la masse, qui est un tambour en mouvement de rotation. L'électrode chargeante est disposée parallèlement à la largeur du tambour (voir la figure 1). Le courant passe dans un milieu particulièrement isolant, l'air, ainsi, lorsqu'on augmente graduellement la tension électrique entre les deux électrodes séparées par l'air, aucun courant ne passe jusqu'à ce qu'on atteigne une tension critique, qui peut être de plusieurs dizaines de milliers de volts, au-delà de laquelle un faible courant circule, situé entre 15 µA et 22 mA, pour environ 1,5 m de largeur de tambour.

L'électrode chargeante émet des ions généralement des électrons. A sa proximité, les gaz s'ionisent du même signe que les électrons, puis se dirigent vers le tambour mis à la masse. Dès lors, les particules qui sont transportées par le tambour en rotation sont toutes chargées négativement par les gaz ionisés.

Or, les particules n'ont pas toutes le même comportement après qu'elles ont été chargées. Pour les unes, aussitôt acquise, la charge est perdue au profit du tambour, qui est un récepteur d'électrons en quantité presque infinie. Ce sont les particules conductrices. Pour d'autre, au contraire, la charge acquise est retenue presque indéfiniment. Ces dernières sont non-conductrices. Notons qu'il s'agit ici de conductivité de surface, c'est-à-dire que les charges sont principalement localisées à la surface des particules plutôt qu'à l'intérieur de tout leur volume.

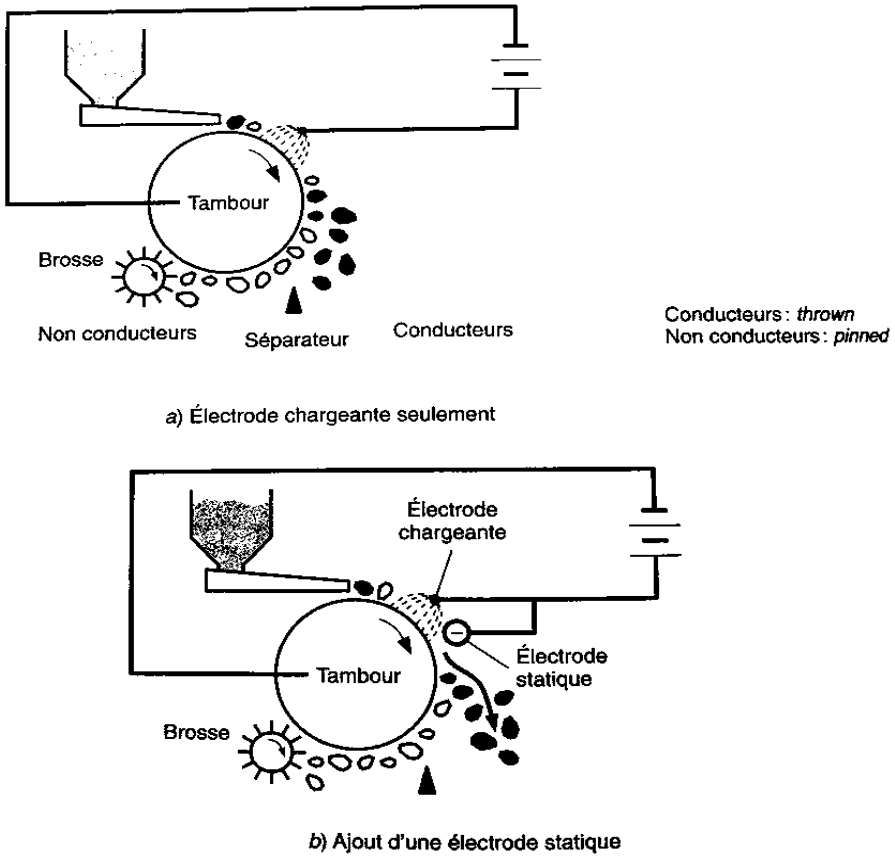


Figure 2. Méthodes électrodynamiques

Les forces auxquelles sont soumises les particules conductrices et non conductrices, lorsqu'elles sont en contact avec la surface du tambour en rotation sont représentées par la figure 3. Les principales forces sont :

F_a : force d'attraction électrostatique entre le tambour mis à la masse, donc par définition ici la charge positive, et les particules chargées négativement ;

F_r : force de répulsion entre l'électrode chargeante négative et les particules chargées négativement ;

F_g : force d'attraction gravitationnelle = m. g ;

F_e : force d'attraction entre une particule mise à la masse et l'électrode chargeante ;

F_{cl} : force centrifuge ; elle dépend du rayon ® du tambour, de sa vitesse de rotation (rpm) et de la masse (m) des particules ; cette force vaut :

F_{cl} = m. v_t^2 / r

Or:

v_t = 2π r. (rpm)

Donc:

F_{cl} = K. m. $(rpm)^2$. R

Où K est une constant.

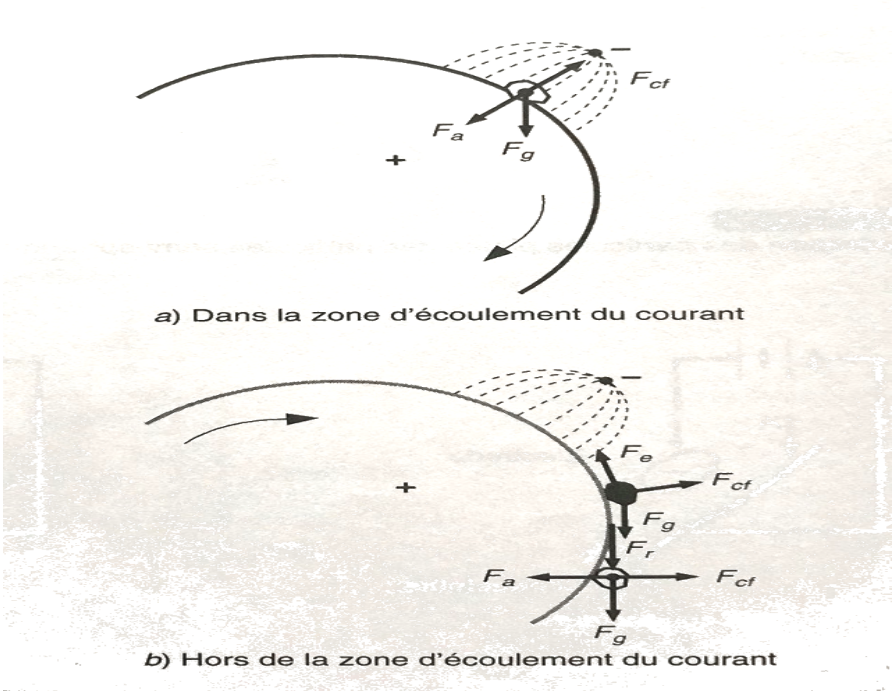


Figure 3. Forces en jeu dans une séparation électrodynamique

Les particules conductrices acquièrent rapidement la même charge que le tambour, de sorte que les forces F_{cl} et F_e leur permettent de s'en dégager et de s'en éloigner rapidement. Par contre pour les particules non- conductrices, la force F_a prédomine, elles adhérent si fortement au tambour que l'utilisation d'une brosse métallique est nécessaire pour les décollées.

2.4.1.2 Méthodes par induction

Cette méthode diffère de la méthode précédente par la technique de chargement des particules (voire la figure 4). L'électrode est dimensionnée de façon telle que le courant qui circule de l'électrode chargeante au tambour est négligeable (de l'ordre de 10 µA pour chaque 1,5 m de largeur de tambour). L'acquisition d'une charge par les particules est donc nulle. Ainsi, l'électrode chargeante s'appelle électrode inductrice, puisqu'elle induit une polarisation de la surface des particules.

Une particule polarisée à une surface dont une moitié est positive et l'autre est négative. Ainsi, l'électrode inductrice, si elle est négative, force les particules qui passent dans son champ d'action à devenir relativement positives sur la moitié de leur surface qui est orientée vers elle, et relativement négatives sur la moitié en contact avec la surface du tambour mis à la masse. Il s'agit bien de charge relative, c'est-à-dire que les électrons contenus dans les minéraux fuient le côté exposé au champ négatif pour migrer de l'autre côté.

Or, les minéraux conducteurs, s'ils prennent moins de temps à acquérir leur polarisation, ont une certaine difficulté à le garder, et, sitôt dépassée la zone d'influence de l'électrode inductrice, ils perdent rapidement leur polarisation, de sorte que la force centrifuge les fait décoller facilement de la surface du tambour.

Mais les minéraux non conducteurs, au contraire, même s'ils prennent plus de temps à se polariser, le restent beaucoup plus longtemps une fois sortis de l'influence de l'électrode inductrice, puisque le courant de surface créé par la migration des électrons est faible. La charge négative qu'ils ont développée du côté du tambour positif cause une attraction électrostatique qui dure longtemps, de sorte qu'ils restent collés au tambour plus longtemps aussi.

Les forces d'attraction ou de répulsion électrostatiques sont beaucoup plus fortes avec les méthodes électrodynamiques qu'avec les méthodes par induction.

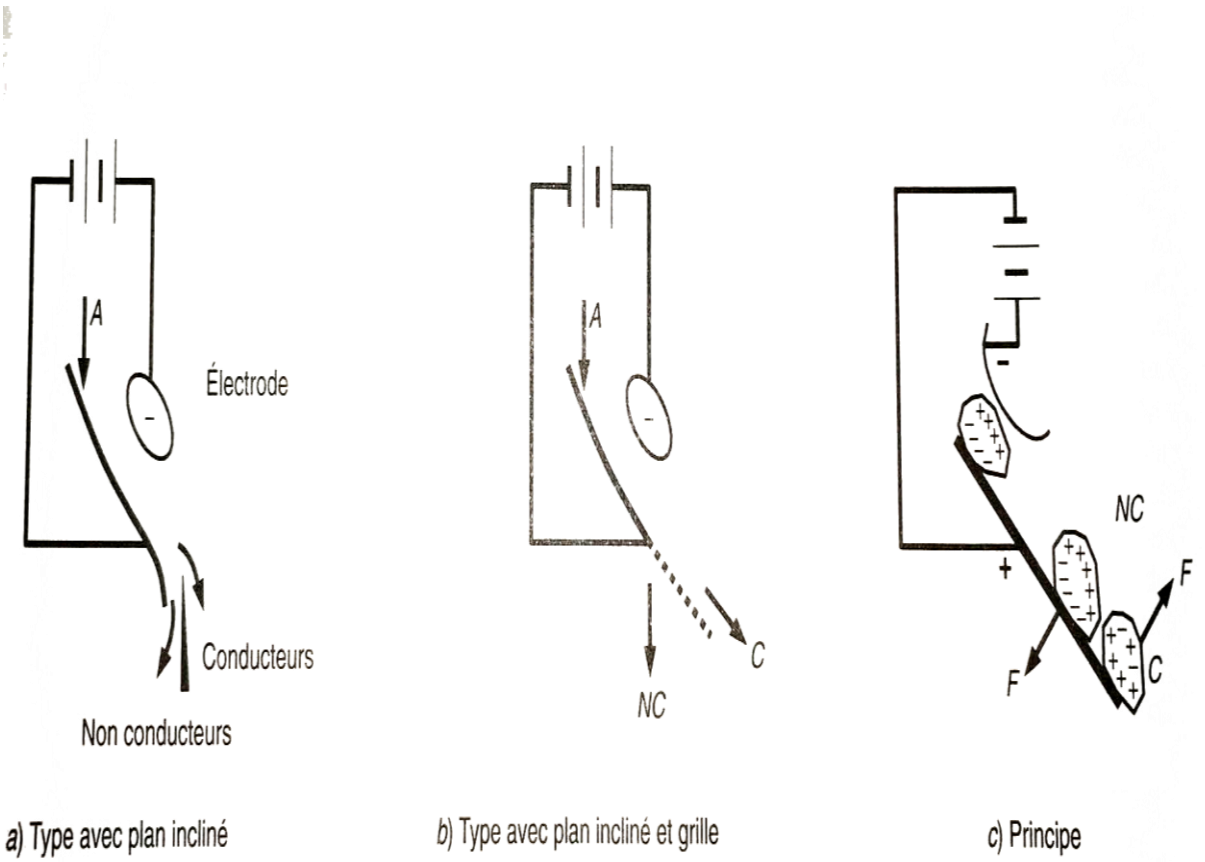


Figure 4. Méthodes par induction

2.4.1.3 Electrification par contact

Lorsque deux minéraux différents sont mis en contact un certain temps, il peut se produire un transfert d'électrons d'un minéral à l'autre, de telle sorte que le mineral A, par exemple, se charge positivement, et le mineral B se charge négativement. La règle de Cohen permet de prévoir le comportement de deux minéraux mis en contact. Selon cette règle, lorsque deux matériaux diélectriques sont mis en contact pour être ensuite séparés, celui qui possède la constante diélectrique la plus élevée devient, en comparaison, chargé positivement. Une fois les charges acquises, l'ensemble de particules est alimenté entre deux électrodes, ce qui permet de séparer les minéraux. Ce principe est représenté à la figure 5.

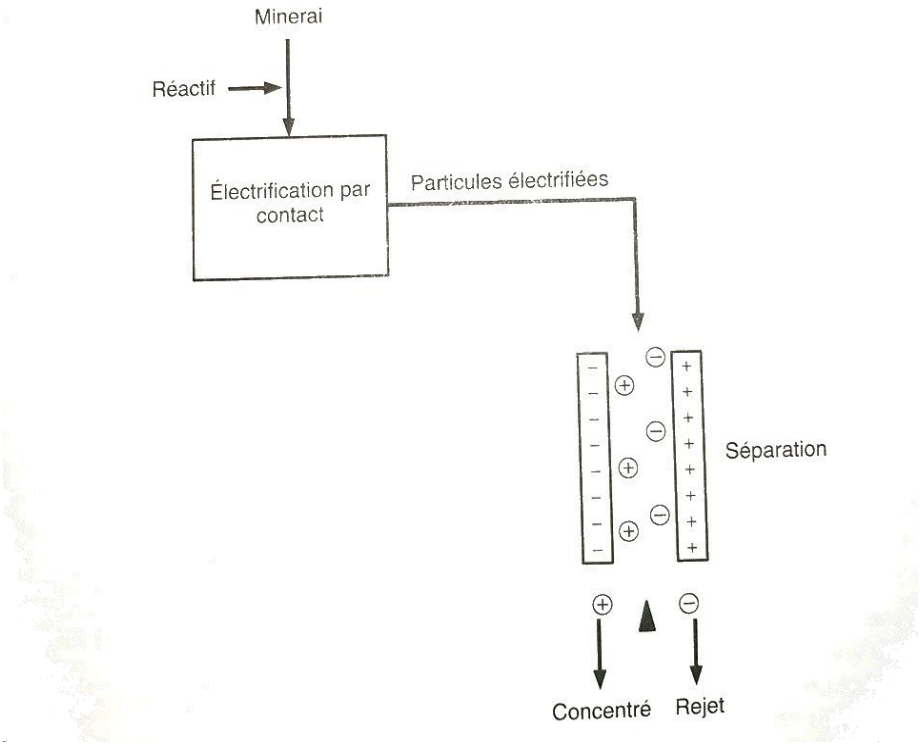


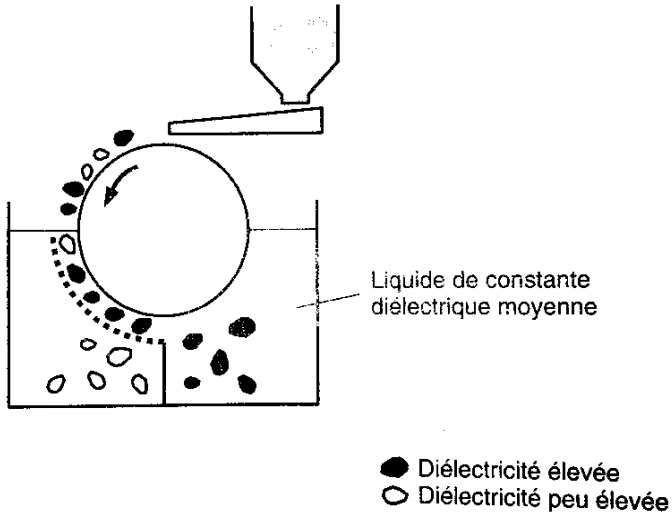
Figure 5. Séparation de minéraux électrifiés par contact

L'électrification par contact se fait dans des récipients tels les cyclones par voie sèche, dans lesquels le conditionnement des surfaces s'effectue avant la séparation électrostatique proprement dite.

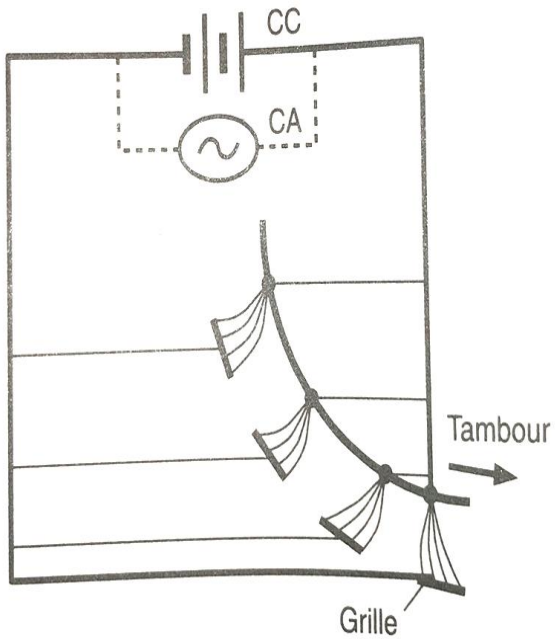
2.4.1.4 Méthodes par diélectrophorèse

Le principe d'une méthode par diélectrophorèse. Lorsque deux minéraux non chargés sont en mouvement à travers un champ électrostatique non uniforme (très peu de courant), il se produit une séparation entre les deux minéraux. Celui qui est le meilleur conducteur possède la constante diélectrique la plus élevée et est le plus facilement polarisable ; il est attiré là où la densité de flux électrique est la plus élevée. Celui qui possède la constante diélectrique la moins élevée suit le chemin de l'attraction gravitationnelle.

Sur la figure, on voit un tambour en mouvement de rotation qui trempe dans un liquide dont la constante diélectrique est située entre celles des deux minéraux à séparer. Le gradient de densité de flux électrique est produit en appliquant une tension de plusieurs milliers de volts sur un grand nombre de fils de petit diamètre situés sur le pourtour du tambour et parallèlement à sa largeur, ils constituent une des deux électrodes. L'autre électrode est constituée par une grille à travers laquelle passent les particules non polarisables. Plusieurs séparations par diélectrophorèse sont possibles, comme avec le mélange rutile-quartz, pour lequel le liquide utilisé est un mélange de nitrobenzène et de kérosène.



a) Appareil



b) Principe

Figure 6. Méthodes par diélectrophorèse

La séparation électrostatique est une méthode de concentration universelle, vu que la majorité des minéraux ont montrés des différences en conductivité électrostatique. Le minerai alimentant la séparation électrostatique doit être parfaitement sec et d'une granulométrie comprise entre 60 et 500 µm. Afin d'obtenir une efficacité de séparation élevée, l'alimentation doit être sous forme d'une couche de minerai de faible épaisseur. La séparation électrostatique ne peut être complètement achevée par un passage unique à travers un séparateur électrostatique. Pour cela les fractions minérales subissent multiple passages à travers l'appareil comme il est représenté par la figure 7.

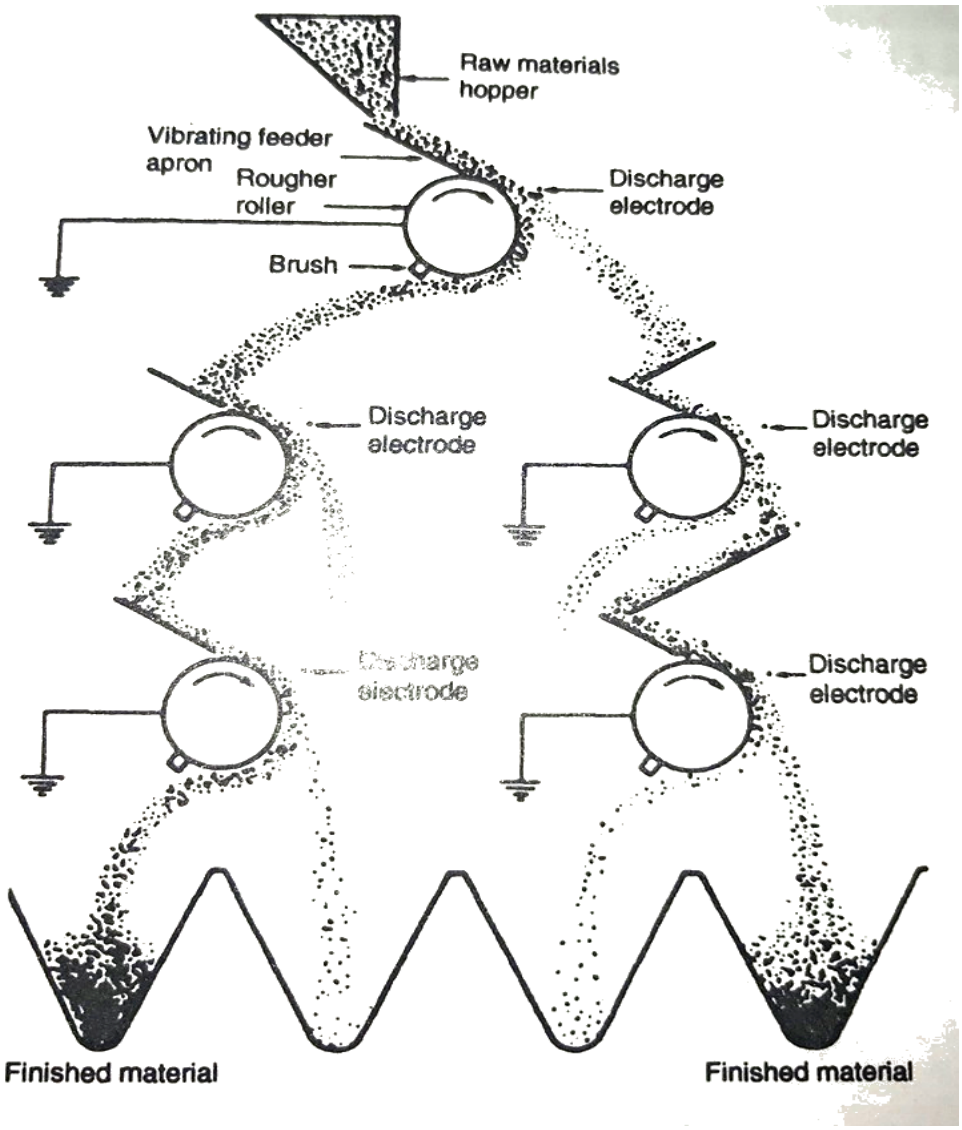


Figure 7. Disposition des séparateurs dans la pratique industrielle