

Chapitre 2.3 METHODES MAGNETIQUES

La séparation magnétique est une séparation physique des particules basée sur les propriétés magnétiques des particules minérales. Lorsqu'un ensemble de particules est placé à proximité d'un aimant, celles qui sont magnétiques seront attirées par l'aimant, tandis que celles qui ne sont pas magnétiques ne seront pas attirées.

2.3.1 Principe

Lorsqu'une particule est située dans une zone d'influence d'un aimant, elle est soumise à un ensemble de force (voir Figure 1). Les plus importantes de ces forces sont la force d'attraction gravitationnelle F_g , égale au produit de la masse par l'attraction gravitationnelle.

$$F_g = mg$$

Ensuite, la force magnétique F_m , définie comme suit :

$$F_m = \xi \cdot V \cdot H \cdot \frac{\Delta H}{\Delta X} \quad (1)$$

Où :

ξ est la susceptibilité magnétique du minéral

V est le volume de la particule

H est le champ magnétisant

$\frac{\Delta H}{\Delta X}$ est la variation du champ magnétisant en fonction de la position : égale au gradient du champs magnétisant

$\xi \cdot H$ est la magnétisation M des particules

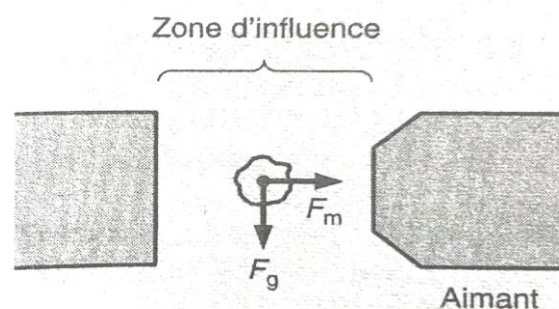


Figure 1. Principales forces en jeu sur une particule sous influence magnétique

Donc, c'est l'équilibre stable entre ces forces qui détermine si la particule sera entraînée au rejet ($F_g > F_m$) ou si elle restera en place, soumise à l'influence magnétique ($F_g < F_m$)

La notion du champ magnétisant comporte plusieurs définitions soit celle du flux, de la densité du flux et de la force magnétomotrice.

La présence d'un aimant engendre des lignes ou des lignes de forces qui traversent le vide ou des corps quelconques, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux. Le flux magnétique ϕ à travers une surface donnée correspond au nombre de lignes ou de lignes de forces qui la traversent. L'unité de mesure SI du flux est le weber (Wb), qui correspond à 100 000 000 lignes. Le flux magnétique est exprimé de façon relative et s'appelle densité de flux B, ou encore induction magnétique représenté par le nombre total de lignes divisé par l'aire totale traversée :

$$B = \frac{\phi}{S} \text{ de Wb/m}^2$$

L'unité de mesure SI de la densité de flux est le tesla (T) :

$$1T = 1 \text{ Wb/m}^2$$

La figure 2 illustre ces deux définitions avec un aimant permanent en forme de barre.

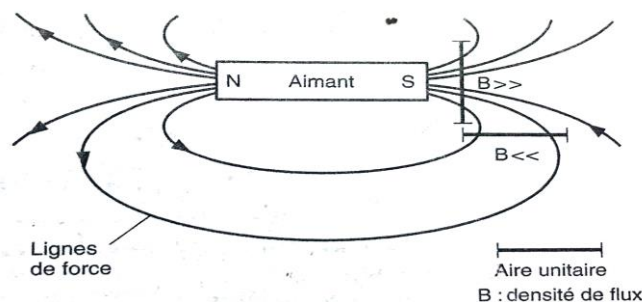


Figure 2. Flux et densité de flux magnétique

On peut remplacer d'après les principes de l'électromagnétisme, une barre d'aimant permanent par un solénoïde ou une bobine pour avoir des caractéristiques semblables, c'est-à-dire des lignes de force qui sont présentes dans le milieu ambiant, partant d'une extrémité appelée pôle nord pour se diriger vers l'extrémité appelée pôle sud. Un solénoïde est un enroulement de fils, fixé autour d'un noyau, que traverse un courant électrique. Le noyau peut être de l'air, mais il consiste généralement en une tige de fer doux. Un tel enroulement de fils est utilisé pour la fabrication des électroaimants ayant une forme de fer à cheval (voir Figure 3).

La force magnétomotrice et le champ magnétisant sont deux propriétés très importantes des électroaimants. La force magnétomotrice FMM est le produit du nombre de tours du fil de la bobine par l'intensité du courant électrique qui le traverse, son unité de mesure SI étant l'ampère-tour, ou l'ampère :

$$FMM = N^{bre} \text{ d'ampères} \times N^{bre} \text{ tours}$$

$$1 \text{ A} \cdot \text{tour} = 1 \text{ ampère} \times 1 \text{ tour}$$

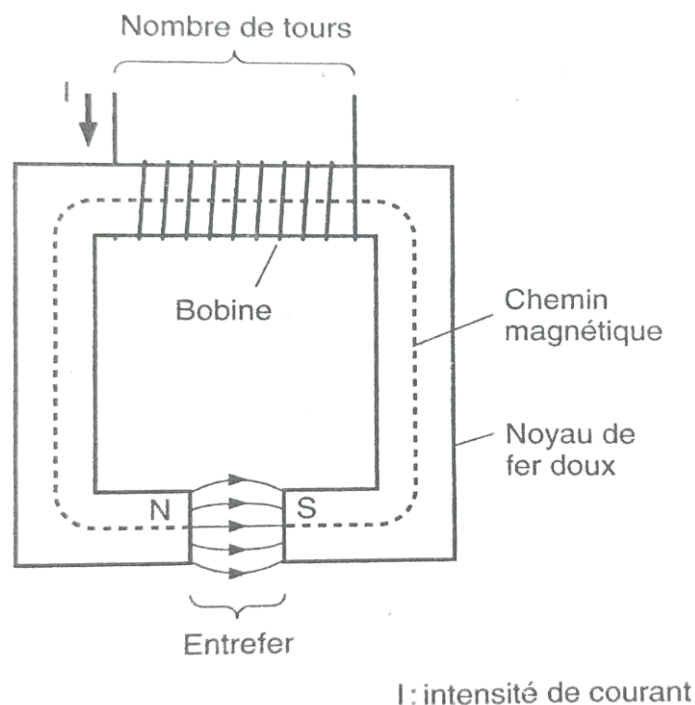


Figure 3. Electroaimant en fer à cheval

Le champ magnétisant H est la force magnétomotrice totale divisée par la longueur totale moyenne du chemin magnétique, c'est-à-dire le trajet emprunté par les lignes de force (voir Figure 3). L'unité SI champ magnétisant est ampère par mètre (A/m).

$$H = FMM / l$$

La réluctance R est la résistance qu'offre un matériau à se laisser traverser par des lignes de force. L'électroaimant possède deux différentes réluctance en série, l'une caractérisant le noyau de fer doux (valeur très faible) et l'autre l'espace d'air ou l'entrefer (valeur élevée). La réluctance dépend de plusieurs facteurs comme le montre l'équation suivante :

$$R = k \cdot l/A \quad (2)$$

Où k est une caractéristique constante du matériau de l'élément, l la longueur de l'élément et A l'aire de la section de l'élément.

La perméabilité μ est la facilité avec laquelle un élément se laisse traverser par les lignes de force. La perméabilité est liée mathématiquement à l'induction, au champ magnétisant et à la magnétisation M par l'équation :

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (3)$$

La magnétisation, ou l'intensité de magnétisation, se dit de l'induction effective existant dans un matériau ; elle est fonction du champ magnétisant et de la susceptibilité magnétique ξ .

$$M = \xi \cdot H \quad (4)$$

Dans le cas de l'air, la susceptibilité étant presque nulle, la magnétisation est négligeable, de sorte que l'équation (4) :

$$B = \mu_0 \cdot H (1 + \xi) \quad (5)$$

Par définition :

$$1 + \xi = \mu \quad (6)$$

L'équation (5) devient donc, en combinant à cette définition :

$$B = \mu_0 \cdot \mu \cdot H \quad (7)$$

Notons qu'il existe pour tout matériau une perméabilité relative μ_r :

$$\mu_r = \mu / \mu_0 \quad (8)$$

Lorsqu'une particule se présente dans un entrefer, elle est soumise à une force magnétique qui a une direction déterminée. Il est possible de d'effectuer de la concentration magnétique si les particules du mineral utile n'ont pas la même susceptibilité que les particules de gangue.

Les minéraux sont classés en trois principaux groupes en fonction de leur susceptibilité magnétique : Ferromagnétique, Paramagnétique et Diamagnétique.

Les minéraux Ferromagnétiques ont une susceptibilité magnétique positive très élevée mais variable aux forces magnétiques qu'ils gardent même lorsqu'ils sont évacués du champ magnétique. Ils sont fortement attirés par le champ magnétique dans la direction d'augmentation de la densité du flux. Ils peuvent être concentrés à l'aide de séparateurs magnétique à basse intensité. Le principal mineral ferromagnétique a séparé est la magnétite (Fe_3O_4).

Les minéraux Paramagnétiques ont une susceptibilité magnétique positive. Ils sont faiblement attirés par le champ magnétique. Ils se déplacent d'une zone dont la densité du flux est moins élevée vers une zone dont la densité du flux est plus élevée. Ils peuvent être concentrés à l'aide de séparateurs magnétiques à haute intensité. Les minéraux paramagnétiques sont : Ilménite (FeOTiO_2), la rutile (TiO_2), le wolframite ($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$), hématite (Fe_2O_3), sidérite (FeCO_3), chromite (FeOCr_2O_3), Pyrrhotite (FeS) et les minéraux de manganèse. Hématite et la sidérite après grillage oxydant sont transformées en magnétite et peuvent être concentrés dans des séparateurs magnétiques à basse intensité.

Les minéraux Diamagnétiques ont une faible susceptibilité magnétique. Ils sont repoussés le long des lignes de force magnétique vers le point où l'intensité du champ magnétique est très faible. Donc, la force d'attraction gravitationnelle prime de sorte qu'ils ne demeurent jamais dans le champ magnétisant. Ils ne peuvent pas être concentrés magnétiquement. Parmi les minéraux diamagnétique le quartz (SiO_2), et feldspath (KAlSi_3O_8 ou $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$).

Il est donc possible d'effectuer de la concentration magnétique si les particules de minéral utile n'ont pas la même susceptibilité que les minéraux de gangue.

2.3.2 Appareils

La figure 4 représente une classification des différents appareils de concentration magnétique.

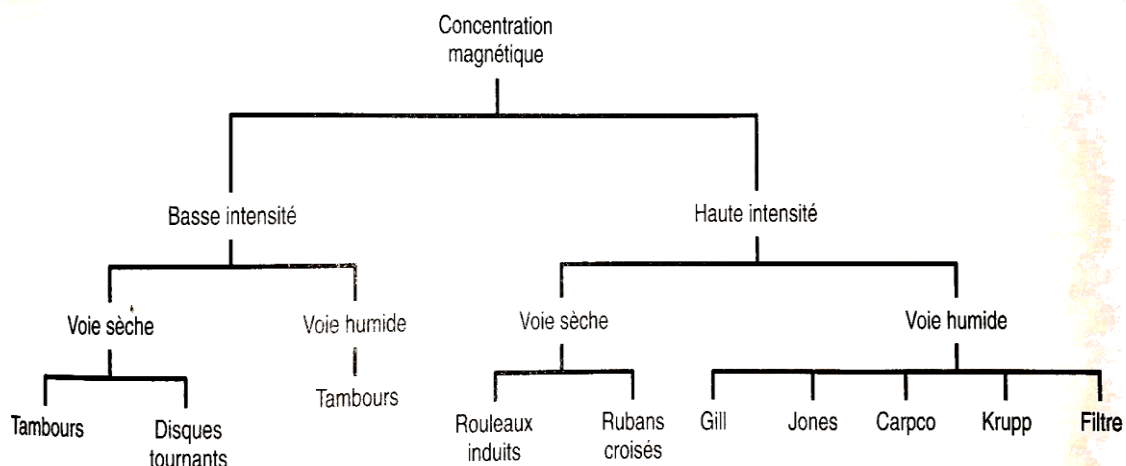


Figure 4. Classification des appareils de concentration magnétique

Tandis que les appareils à basse intensité servent à la concentration des minerais de magnétite (ferromagnétique), les appareils à haute intensité servent pour une très grande variété de substances et de minéraux. Considérons quelques caractéristiques des appareils fonctionnant par voie sèche.

2.3.2.1 Concentration par voie sèche

A. Tambour

Le premier type d'appareil utilisé pour la séparation magnétique à basse intensité est le tambour magnétique. C'est un cylindre creux en mouvement de rotation, alimenté par le dessus à partir d'une trémie ou d'un alimentateur, A l'intérieure du cylindre, dans une position fixe se trouve le système magnétique sous forme d'un assemblage d'aimants constitués d'un nombre donné de petits aimants permanent ou de petits électroaimants.

Le minerai entre en contact avec la paroi extérieure du tambour, tourne avec lui jusqu'à son entrée dans la zone d'influence des aimants. A ce moment, chaque particule est soumise à un ensemble de forces :

- La force de gravité F_g
- La force magnétique F_m
- La force centrifuge F_{cf}

Lorsque la vitesse de rotation dépasse 60 rpm, on peut négliger l'attraction gravitationnelle. Une particule en équilibre dans la zone d'influence magnétique est sollicitée par la force magnétique et la force centrifuge :

$$F_m = F_{cf}$$

Les particules pour lesquelles la force magnétique est plus importante que la force centrifuge restent collées fermement à la paroi du tambour, jusqu'à 'à elles dépassent la zone d'influence des aimants, et alors seulement elles tombent dans le réceptacle du concentré, aménagé pour les particules ferromagnétiques. Pour les particules non ferromagnétiques, la force centrifuge l'emporte sur la force magnétique, de sorte qu'elles ne collent pas à la paroi, mais sont emportées dans un autre réceptacle, celui du rejet. Les particules mixtes tombent dans un réceptacle situé entre les deux autres.

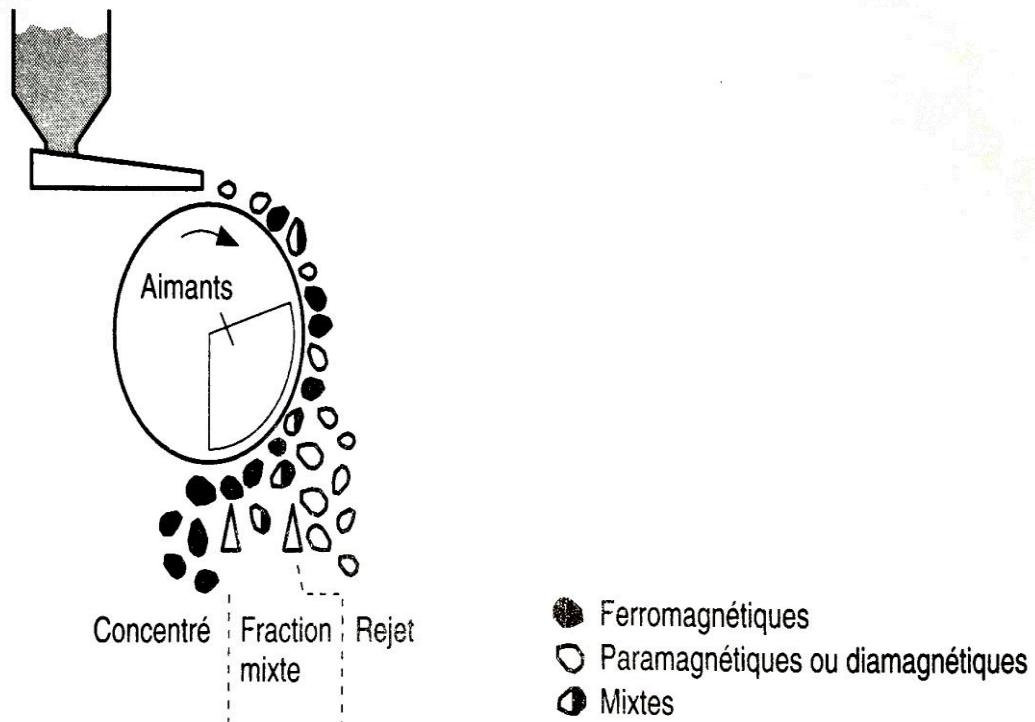


Figure 5. Séparateur magnétique à tambour par voie sèche

B. Séparateur à disques tournants

C'est une bande transporteuse qui alimente du minerai jusqu'à une zone d'influence magnétique, constituée de plusieurs pôles magnétiques en alternances situées sous la bande. L'entrefer est composé de disques ferromagnétiques en rotation, situés au-dessus de la bande. Les lignes de forces sortent du pôle nord, traversent le matériau de la bande, les particules solides, passent par un disque tournant pour revenir au pôle sud.

Puisque les disques tournants ont une surface dentée, un gradient de champ assez élevé se produit, avec une densité du flux supérieure au contact avec les pointes, de sorte que les particules paramagnétiques se fixent aux disques, pour s'en dégager dès que leur mouvement de rotation les emporte hors du champ. A ce moment, celle-ci tombent dans un réceptacle à concentré. Les particules faiblement paramagnétiques ou diamagnétiques continuent leur chemin jusqu'à la fin de la bande transporteuse, d'où elles tombent dans un autre réceptacle.

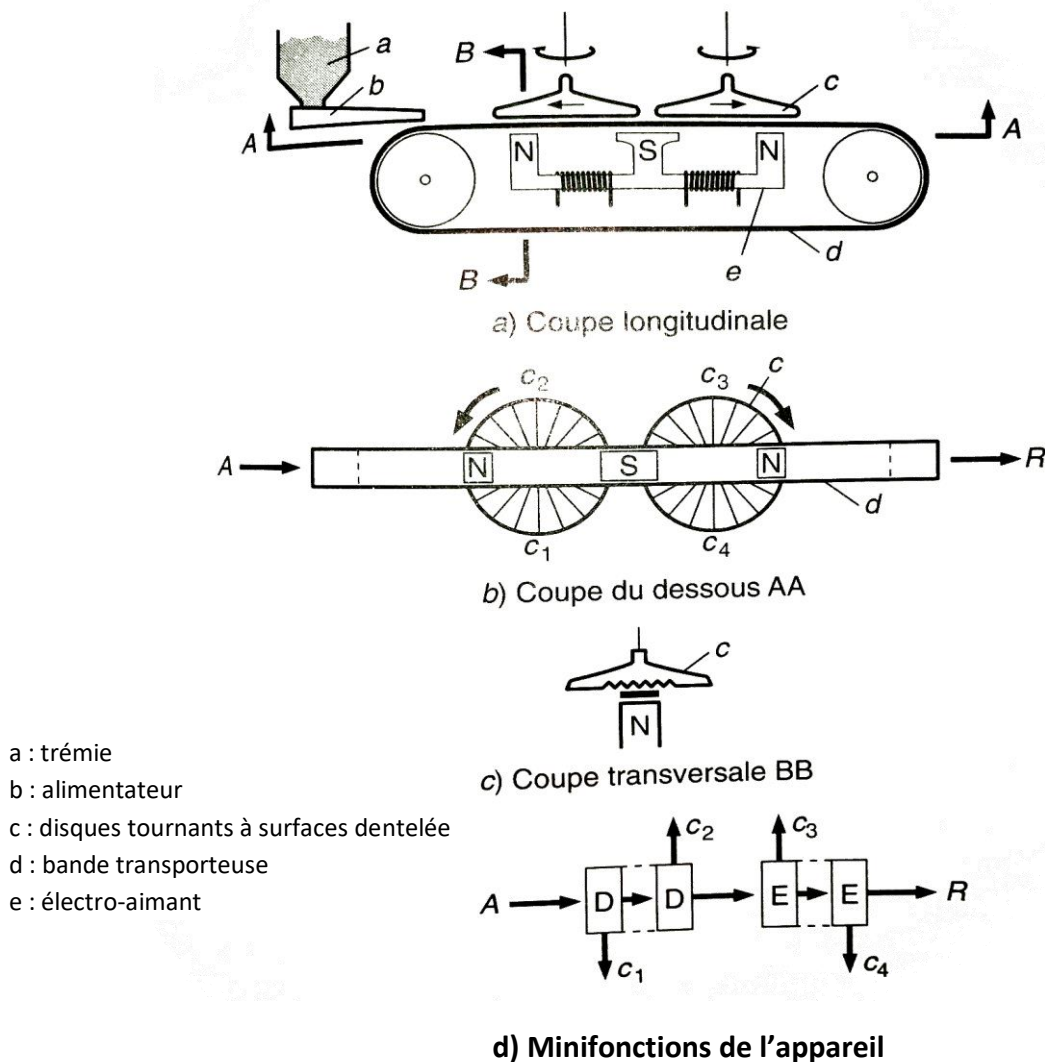


Figure 6. Séparateur à disques tournants

L'appareil comporte plusieurs disques, le deuxième étant plus rapproché des pôles que le premier, il en découle un gradient du champ croissant du 1 au disque 2 et du disque 2 au disque 3. Le premier disque récupère un concentré moyen, les forces magnétiques étant minimales, sa fonction est de dégrossir. Le second disque effectue de la concentration sur le rejet de premier disque; il produit un concentré pauvre, donc une fraction mixte. En réalité, chaque disque récupère deux produits, un de chaque côté de la bande transporteuse ; celui qui est récupéré du côté le plus rapproché de l'alimentation à une teneur plus élevée que le suivant.