

## Procédés de séparations gravimétriques

### I- Le superpanner

Le superpanner est un appareil qui permet la séparation par voie humide, de minéraux présentant des différences de densité associées à des différences de formes extérieures.

#### I-1. Description

Le superpanner se compose essentiellement d'un couloir ayant une forme en V très ouvert (voir figure). La largeur du canal passe progressivement de 12cm à 23,5cm, la longueur du couloir étant de 72 cm. Ce couloir est monté sur une table métallique inclinable pivotant autour d'un axe transversal et pouvant prendre toutes les positions comprises entre l'horizontale et un angle de 22°.

Une conduite placée en tête du couloir, dans la partie la plus étroite, permet d'établir, à l'intérieur du canal, un courant d'eau de débit réglable. Cette eau est aspirée à l'extrémité large du couloir par une tubulure reliée à une fiole à vide.

#### I-2. Fonctionnement

Les minéraux à séparer, représentant une fraction granulométrique très serrée, sont placés dans la partie supérieure du couloir près de l'arrivée d'eau. Le courant d'eau étant établi et l'appareil mis en marche, les minéraux sont brassés dans l'eau par les mouvements transversaux oscillants.

Une partie des minéraux légers part en premier lieu, les minéraux les plus lourds du mélange restent plus ou moins sur place, mélangés par un fort pourcentage de minéraux légers. Les secousses saccadées longitudinales, ont pour rôle de maintenir sur place les minéraux lourds, en leur communiquant une accélération, en sens inverse du courant.

Après, un certain temps de fonctionnement du superpanner, on observe dans le couloir une ségrégation des divers grains, les minéraux lourds restent dans la partie haute du canal et forment une « queue » qui présente, le maximum de pureté dans sa partie la plus proche de l'arrivée d'eau. Les minéraux les plus lourds du mélange se classent le plus près de celle-ci ; les minéraux légers sont recueillis dans la fiole à vide.

#### I-3. Condition de fonctionnement

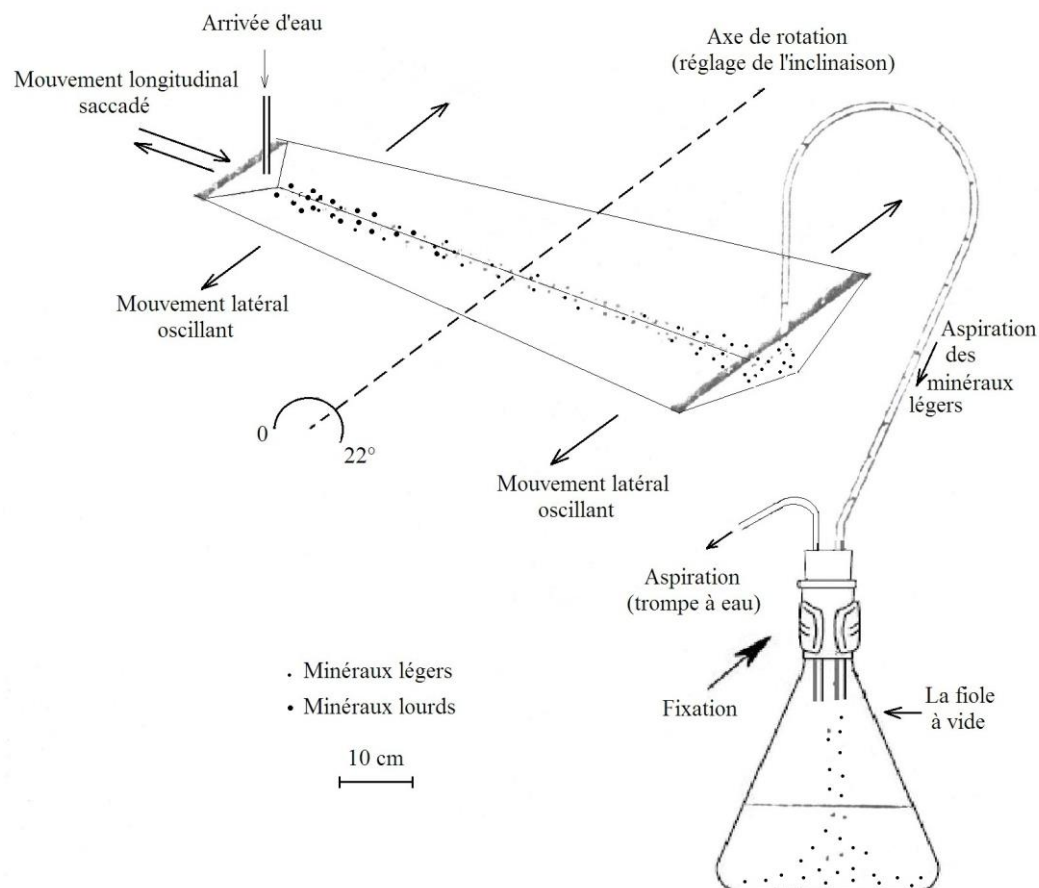
La facilité de séparation d'un mélange, est fonction, de granulométrie de la poudre, de la forme des minéraux en présence, des différences de densité, entre minéraux lourds et minéraux légers, et de la quantité d'échantillon traité.

Il est toutefois possible de dégager quelques grands principes d'utilisation du superpanner ; les minéraux doivent être tamisés soigneusement et les fractions granulométriques doivent présenter des coupures très proches les unes des autres. Les fractions fines sont de loin les plus favorables à une séparation au superpanner. Les fractions donnant les meilleurs résultats

sont : 400-270 mesh ; 270-200 mesh et 200-150 mesh. Les séparations restent encore bonnes pour 150-100 mesh et 100-65 mesh. Elles sont très mauvaises au dessus de 35 ou 28 mesh.

L'observation montre que le débit de l'eau dans le couloir doit être réglé en fonction de la pente de ce dernier, de la granulométrie et de la quantité de poudre traitée. Un débit d'eau important n'est compatible qu'avec une pente faible, sinon tous les grains sont entraînés par le courant. Il est préférable de travailler avec une faible pente du couloir ( $3^\circ$  à  $5^\circ$ ), une quantité de poudre d'environ 100 à 150 g et un débit d'eau de l'ordre 01l/min.

Avant de commencer toute séparation, il est conseillé de mouiller la poudre afin d'éviter que les grains secs, aussi bien lourds que légers, qui flottent, à la surface de l'eau par un phénomène de tension superficielle, et qui rejoignent de ce fait, la fraction légère dans la fiole à vide. Il est aussi utile de laver les grains à séparer avant la mise en route du superpanner.

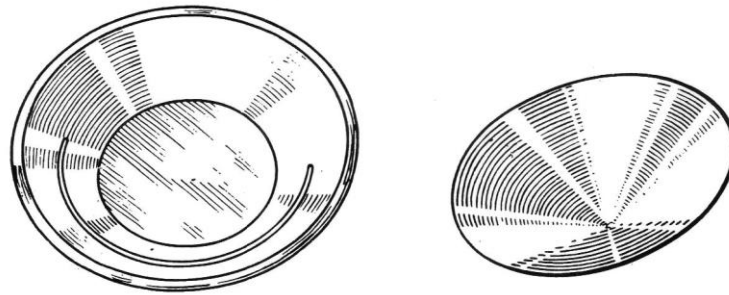


Le superpanner

Un appareil de dimensions nettement plus réduites mais basé sur les mêmes principes, le **Micropanner** (Muller, 1958), peut être fixé sur la platine d'une loupe binoculaire ; il traite des

échantillons de l'ordre de 50 mg et de granulométrie pouvant atteindre 10 microns ; Muller (1958) signale la concentration de fragments d'ilménite de 7 microns obtenue à partir d'un mélange de quartz –ilménite de dimensions comprises entre 4 et 10 microns.

On peut d'ailleurs placer dans le même groupe de méthodes la technique de séparations à **la batée** ou au **pan** qui est surtout un procédé de terrain mais qui peut aussi être utilisé avec succès au laboratoire dans certains cas de préconcentration.



**Pan californien (à gauche) et batée conique chinoise (à droite) (d'après Routhier, 1963)**

On utilise alors à cet effet, soit la batée conique en forme de chapeau chinois, soit le pan californien à fond plat et dont les bords sont dans leur partie supérieure creusée d'un sillon qui empêche l'élimination des minéraux de très petite taille. Le pan a l'avantage de permettre un lavage plus rapide mais la batée facilite l'examen du concentré alluvionnaire obtenu. En effet, l'opération terminée il subsiste une languette de sable dans laquelle les grains se classent suivant leurs densité : les plus légers sont vers le bord de la batée, ceux de poids moyen vers le milieu de la paroi, les plus lourds tout à fait au fond de l'instrument. On établit des listes de minéraux classiques en fonction de leur position. C'est ainsi qu'on peut distinguer :

- Les minéraux pouvant flotter à la surface à cause de leur forme en paillettes : graphite, micas, molybdénite, oligiste, éventuellement or, quand il est en paillettes très fines,
- Les minéraux qui constituent le liséré blanc : feldspaths, calcite, et aussi béryl, à condition de n'être pas de grosse taille,
- Les minéraux qui forment la partie extérieure de la languette noire : andalousite, apatite, amphibole, fluorine, pyroxène, tourmaline,
- Les minéraux de la partie intérieure de la languette noire : ceylanite, corindon, disthène, diamant, épidote, grenats, ilménite, magnétite, monazite, oligiste, olivine, rutile, scheelite, sphène, staurotide, topaze, zircon,
- Enfin, les fonds de batée recèlent : cassitérite, chromite, columbotantalite, cuivre natif, or, platine, thorianite, wolfram.

Signalons enfin, certaines tables à **riffles** (riffles : baguette parallèles fixées obliquement sur le plateau d'une table à secousses et permettant de retenir au passage les minéraux lourds du mélange eau-sédiment) telles que la **table de Wilfley**, qui sont conçues pour un traitement pour le moins semi-industriel, pouvant obtenir rapidement des préconcentrés acceptables.

## **II- Table à secousses**

### **II-1. Description**

La table à secousses est une pièce d'équipement de séparation par gravité pour matières fines. Cet équipement provoque un mouvement de va et vient en partie accélérer, en partie décéléré et permet ainsi l'enrichissement gravimétriques des minéraux solides. Elle est appliquée largement pour la séparation de l'or, de l'argent, du plomb, du zinc, du tungstène, d'étains, des tantales, du niobium et d'autres métaux rares et celle des métaux précieux. Elle est également utilisée pour séparer du fer, du manganèse, du mica et d'autres minerais non-métaux.

Lorsqu'il s'agit de tungstène, d'étain et d'autres minéraux, sa taille de recouvrement efficace est de 2 à 0,02 mm, pyrite (4-0.02 mm) également utilisés pour traiter le sable brut (2-0.5 mm), le sable fin (0.5-0.074 mm), la boue (0.075 mm).

## II-2.Structure

La table à secousses est constituée de lit, de moteur, de bac de minerai, de l'abreuvoir, du dispositif de réglage de pente, du système de lubrification, etc.

## II-3.Avantage

- Une variété de tables à secousses dans le marché avec des capacités de traitement, de taux de récupération et de taux d'enrichissement élevés.
- Une seule séparation peut obtenir des minerais concentrés passables et des tailings.
- Minerais en forme d'éventail permettant une observation et une régulation faciles.
- Non consommation de réactifs et de produits chimiques, faible consommation d'électricité.



**Table à secousses et de Wilfley (à riffles)**

## III- Séparation par Liqueurs dense (sink and float)

### III-1. Introduction

La densité est une propriété importante des minéraux. Dans la plupart des cas, le minéral est soupesé à la main et une évaluation sommaire est faite. Il est possible de faire des mesures quantitatives soit sur des grains ou sur un cristal. Il faut bien distinguer la densité et la masse volumique. La masse volumique est la masse divisée par le volume et s'exprime en g/cm<sup>3</sup>. La densité quant à elle, est relative à l'eau ayant une densité de 1 g/cm<sup>3</sup> ce qui offre l'avantage de ne plus avoir besoin d'exprimer les unités.

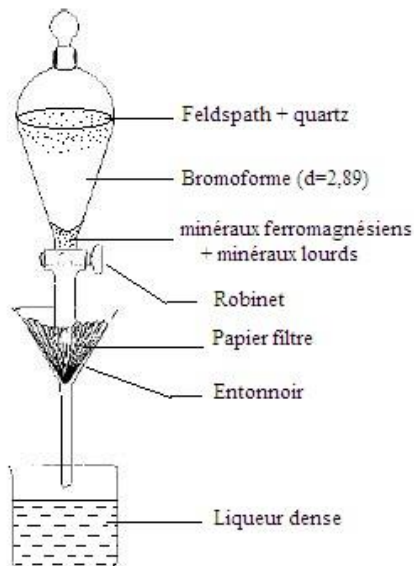
### III-2. Description

Il s'agit d'une méthode de séparation gravimétrique se déroulant dans un fluide stationnaire. Elle consiste à immerger des minéraux dans un liquide de densité connue, les minéraux les plus dense plonge, et les moins dense flotte. Les liqueurs les plus souvent utilisées sont par ordre de densité croissante : Le bromoforme ( $d=2,9$ ) ; la liqueur de Thoulet ( $d=3,19$ ) ; l'iodure de méthylène, appelé aussi diiodométhane ( $d=3,33$ ) ; la liqueur de clerici froide ( $d=4,2$ ) ; le nitrate de thallium et d'argent ( $d=4,6$ ) ; la liqueur de clerici chaude ( $d=5,02$ ) ; le nitrate de thallium et de mercure ( $d=5,3$ ) et le nitrate de thallium ( $d=5,5$ ).

L'emploi des liqueurs denses reste limité aux indices supérieurs à 4.3. Par ailleurs elles peuvent servir à séparer des fractions minérales, en particulier les feldspaths et le quartz d'une part, des éléments ferromagnésiens (silicates tels que : chlorites, amphiboles, pyroxènes, grenats, etc...) et des minéraux denses d'autre part.

Ces liqueurs sont d'un emploi délicat en raison de leur toxicité élevée. Elles doivent être utilisées avec précautions ; Toujours sous une hotte avec des gants de néoprène, des lunettes de sécurité et une ventilation adéquate.

Le matériel de séparation employé est relativement simple et permet de travailler rapidement avec une perte minimum de liqueurs denses. Les minéraux sont mélangés avec la liqueur dense dans une ampoule à décanter (voir figure). Ils doivent être bien mouillés par la liqueur autrement des bulles d'air peuvent entraîner les minéraux. Une fois la séparation opérée, elle est observable à l'œil nu et prend quelques minutes. Il faut ouvrir la valve pour récupérer chacune des phases.



Appareillage pour les séparations aux liqueurs denses

### III-3. Utilisation

La poudre de roche obtenue par broyage est tamisée, lavée à l'eau pour débarrasser les grains de la pellicule poussiéreuse qui les recouvre, et séchée soigneusement. Les fractions granulométriques à employer se situent entre 28 et 200 mesh. Les fractions entre 200 et 400 mesh peuvent être utilisées, mais la décantation est longue et la séparation doit être répétée plusieurs fois.

Cette poudre est versée dans l'ampoule à décanter préalablement remplie à mi-hauteur de bromoforme. On agite le mélange « bromoforme-poudre » et on laisse reposer ce mélange pendant un temps qui sera d'autant plus long que la grosseur des grains sera faible. On ouvre doucement le robinet de l'ampoule à décanter pour recueillir les minéraux lourds qui sont tombés au fond de celle-ci. L'ouverture du robinet ne doit pas être brutale afin de ne pas provoquer une aspiration des minéraux légers qui flottent à la surface du bromoforme. On récupère ensuite sur un autre filtre les minéraux légers. Un rinçage des minéraux à *l'alcool éthylique* à 90° est nécessaire pour débarrasser ceux-ci de la pellicule de bromoforme restant à la surface des grains

#### III-4. Les liqueurs denses les plus courantes

- **Bromoforme (CH Br<sub>3</sub>)** -  $d=2,890$  à  $20^{\circ}\text{C}$  (voir annexe I)
- **Iodure de méthylène (CH<sub>2</sub> I<sub>2</sub>)** -  $d=3,325$  à  $20^{\circ}\text{C}$  (voir annexe II)
- **Liqueur de clerici** -  $d=4,25 \text{ g / cm}^3$  à  $20^{\circ}\text{C}$ 
  - Préparation : 10 parties de malonate de thallium (Tl (C<sub>3</sub>H<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)) + 10 parties de formiate de thallium (Tl (CHO<sub>2</sub>)) + 1 partie d'eau.
  - Liquide transparent à jaunâtre, sans odeur, stable, inerte à température ordinaire et soluble dans l'eau chaudes.
  - Cette liqueur visqueuse, corrosive et très toxique ;
    - $d=4,40$  à  $35^{\circ}\text{C}$ ,  $d=4,65$  à  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $d=5,10$  à  $100^{\circ}\text{C}$
  - À éviter pour trois raisons :
    - Terriblement cher ;
    - Très toxique pour la peau (thallium) ;
    - Polluant pour les manipulations isotopiques.

#### III-5. Les liqueurs intermédiaires (consulter le tableau de densité des minéraux)

Les liqueurs denses sont obtenues par mélange de liqueur dense dont nous avons évoqué avec les solvants appropriés.

- Bromoforme + alcool éthylène ;  $0,79 \leq d \leq 2,89$  ; fraction des minéraux légers (quartz, feldspath, argile...).
- Iodure de méthylène + benzène ;  $2,89 \leq d \leq 3,3$  ; fraction des minéraux lourds silicatés.
- Clerici + eau ;  $3,3 \leq d \leq 4,06$  ; fraction des minéraux très lourds (spinelle, grenat, diamant, corindon...)

(La densité des liqueurs se modifie assez rapidement d'où la tendance à l'utiliser).

#### ANNEXE I : BROMOFORME (CHBr<sub>3</sub>)

Densité  $2,890 \text{ g/cm}^3$  à  $20^{\circ}\text{C}$

##### - Principaux synonymes

Noms français : bromoforme.

Noms anglais : bromoform.

Autres noms : méthane, tribromo-méthényle, tribromide-méthyle, tribromide.

**- Aspect physique ; apparence**

Liquide lourd incolore, d'odeur chloroformique. Devient jaune exposé à la lumière et à l'air.

**- Danger immédiat pour la vie et la santé : 850 ppm**

**- Risque d'inhalation:**

Une contamination dangereuse de l'air est très rapidement atteinte lors de l'évaporation de cette substance à 20°C.

**- Explosibilité :** Peut exploser au contact des métaux actifs

**- Stabilité**

Ce produit se décompose graduellement à l'air et devient jaune. La chaleur et la lumière accélèrent cette décomposition (instabilité).

**- Incompatibilité**

Ce produit est incompatible avec ces substances : Les agents oxydants, les bases fortes, les métaux réactifs tels que: le sodium, le potassium, le lithium, le calcium, l'aluminium, le zinc, le magnésium et leurs alliages.

**- Manipulation**

Éviter tout contact avec la peau. Porter un appareil de protection des yeux et, en cas de ventilation insuffisante, un appareil respiratoire approprié.

Manipuler à l'abri des matières incompatibles.

Ne pas manger et ne pas boire pendant l'utilisation.

Ne pas emporter de vêtements de travail chez soi.

Attaque certains types de plastiques, de caoutchouc ou de revêtement.

**-Entreposage**

Conserver dans un récipient hermétique placé dans un endroit sombre.

Conserver dans un endroit frais, sec et bien ventilé.

Conserver à l'abri des bases, des matières oxydantes et des métaux.

Entreposer à une température inférieure à 5 degrés Celsius.

**- Propriétés toxicologiques**

**-Effets aigus**

Ingestion: dépression du système nerveux central (perte de conscience, stupeur, perte de réflexes), mort. Animal (ingestion): dommages hépatiques et rénaux, possibilité d'atteinte immunitaire.

**- Effets des**

**expositions de courte durée :** La substance est irritante pour les voies respiratoires, les yeux et la peau. La substance peut avoir des effets sur le système nerveux central et le foie, entraînant une insuffisance fonctionnelle.

**- Effets des expositions prolongées ou répétées :**

La substance peut avoir des effets sur le système nerveux central et le foie, entraînant des lésions tissulaires.

**ANNEXE II : IODURE DE METHYLENE (CH<sub>2</sub>I<sub>2</sub>)**

Densité : 3,325 g/cm<sup>3</sup> à 20 °C

**- Principaux synonymes**

Noms français : Iodure de méthylène, Diiodométhane.

Noms anglais : Methylene iodide

**-Aspect physique; apparence:**

Liquide volatil incolore, d'odeur piquante caractéristique. Devient brun lors d'exposition à la lumière et l'humidité.

**- Dangers physiques:**

La vapeur est plus lourde que l'air et peut s'accumuler dans les dépressions provoquant un appauvrissement en oxygène.

**- Dangers chimiques:**

La substance se décompose en chauffant fortement au-dessus de 270 C°, produisant de l'iodure d'hydrogène. Réagit violemment avec les oxydants forts. Réagit violemment avec l'oxygène à 300C° en provoquant des risques d'explosion.

**- Voies d'exposition:**

La substance peut être absorbée par l'organisme par inhalation de ses vapeurs, par ingestion et à travers la peau.

**- Risque d'inhalation:**

Une contamination dangereuse de l'air est très rapidement atteinte lors de l'évaporation de cette substance à 20°C.

**- Stabilité**

Ce produit est instable ; lorsqu'il est exposé à la lumière, il brunit.

**- Incompatibilité**

Ce produit est incompatible avec les agents oxydants forts.

**- Produits de décomposition**

Décomposition thermique (à partir de 270 degrés Celsius): émet des fumées âcres.

**- Manipulation**

Éviter tout contact avec la peau. Porter un appareil de protection des yeux et, en cas de ventilation insuffisante, un appareil respiratoire approprié. Ne pas manger et ne pas boire pendant l'utilisation.

**-Entreposage**

Conserver dans un récipient hermétique placé dans un endroit sombre, frais et bien ventilé.

**-Propriétés toxicologiques**

La substance est irritante pour les voies respiratoires, les yeux et la peau. La substance peut avoir des effets sur le système nerveux central et le foie, entraînant une insuffisance fonctionnelle.

**-Effets aigus**

Irritation des yeux, irritation et corrosion de la peau. Inhalation: nausées, vomissements, diarrhée, oligurie, difficultés d'élocution, troubles visuels, ataxie, tremblements, irritabilité, somnolence, coma et mort possibles, possibilité de troubles psychiques persistants et de dommages permanents au système nerveux central.

**-Effets cancérogènes :** Effet cancérogène soupçonné chez l'humain.

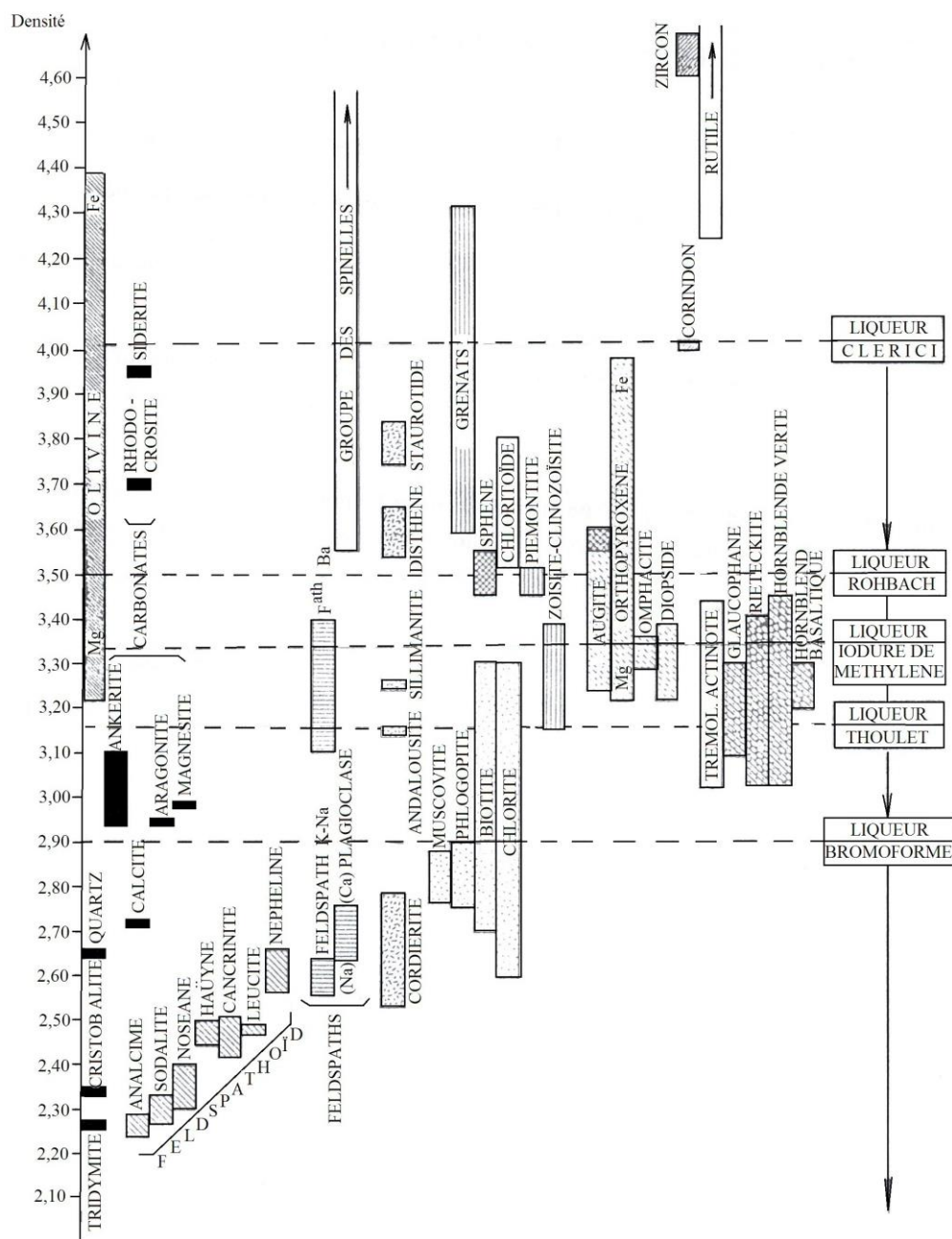


TABLEAU SCHEMATIQUE DE CLASSEMENT DES ESPECES MINERALES PAR DENSITE

D'une manière générale, pour ces mélanges de liqueurs intermédiaires : le nombre (X) en  $\text{cm}^3$  de solvant, de densité (B) à ajouter à  $1\text{cm}^3$  de liqueur de densité (D) pour obtenir la densité (d) requise est :

$$X_{(\text{cm}^3)} = D - d / d - B$$

Les graphes (Fig. A, B et C) montrent des exemples d'évolution du mélange :

Bromoforme + alcool éthylène - Iodure de méthylène + benzène - Clerici + eau

La formule permet de construire ce type de courbe où il est possible de trouver X pour une densité donnée ;

Ex : Combien en ajoute de l'alcool d'éthylène au bromoforme pour obtenir une densité mélange de 2,6 ?

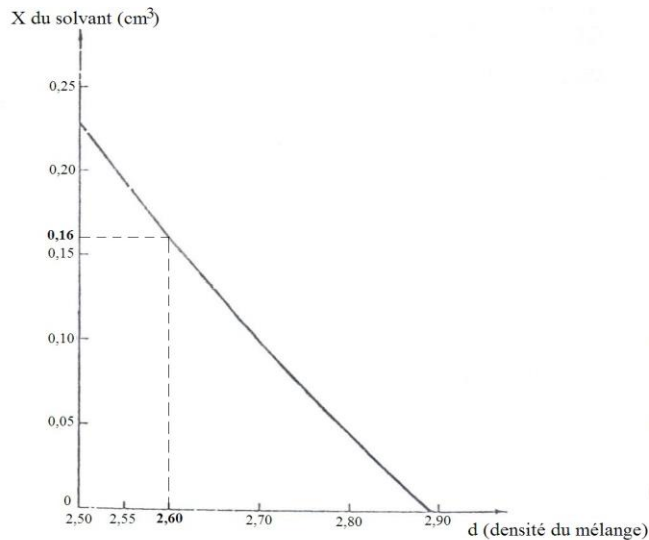


Figure A

Fig. A : Courbe donnant en ordonnée le nombre  $x$  de  $\text{cm}^3$  d'alcool éthylique ( $d = 0,79$ ) à ajouter à  $1 \text{ cm}^3$  de bromoforme ( $d = 2,89$ ) pour obtenir la densité  $d$  exprimée en abscisse (PARFENOFF, 1967).

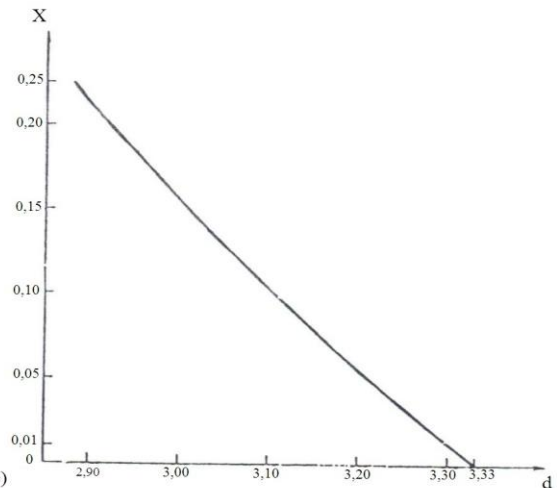


Figure B

Fig. B : Courbe donnant en ordonnée le nombre  $x$  de  $\text{cm}^3$  de benzène ( $d = 0,88$ ) à ajouter à  $1 \text{ cm}^3$  d'iodure de méthylène ( $d = 3,33$ ) pour obtenir la densité  $d$  exprimée en abscisse (PARFENOFF, 1967).

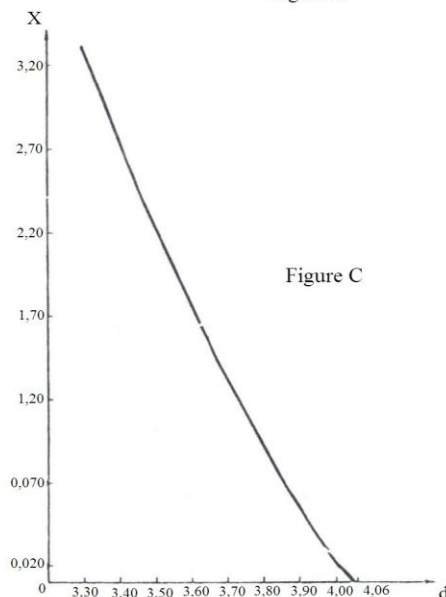


Figure C

Fig. C : Courbe donnant en ordonnée le nombre  $x$  de  $\text{cm}^3$  d'eau ( $d = 1,00$ ) à ajouter à  $1 \text{ cm}^3$  de liqueur de Clérici ( $d = 4,06$ ) pour obtenir la densité  $d$  exprimée en abscisse.

### III-6. Inconvénient du dispositif

L'inconvénient de dispositif vient de la difficulté d'obtenir une bonne coupure de densité surtout si les minéraux ont des densités très voisines, que leur granulométrie est faible, ou encore, que leur forme les prédispose à flotter (lamelles de mica, tablettes de disthène, fragments aciculaires d'amphibole, etc...).

Les séparations densimétriques classiques, réalisées sans précautions spéciales, ne donnent pas de bonnes coupures entre grains de dimensions inférieures à  $100 \mu\text{m}$  (la différence de densité doit être supérieure à 0,05), sinon on procède par centrifugation.

#### IV- Centrifugation

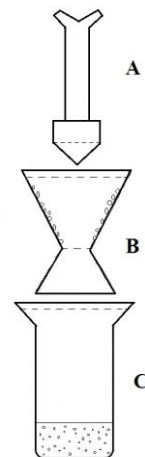
La centrifugation permet d'apporter une nette amélioration, en augmentant la force appliquée à chacun des grains suivant la formule :  $f = m \omega^2 r$

$m$  : masse du grain,  $\omega$  : vitesse angulaire de centrifugation,  $r$  : rayon du cercle décrit par le grain lors de la centrifugation.

L'opération s'effectue au moyen de centrifugeuses de modèles variés tournant généralement à des vitesses comprises entre 2000 et 20 000 tours/minute.

La récupération des fractions peut être effectuée, sans risque de mélange, au moyen d'un montage représenté ci-contre et constitué de trois pièces s'emboîtant l'une dans l'autre. Les pièces inférieures (B et C) sont emboîtées l'une dans l'autre, sont employées pour la centrifugation ; la pièce supérieure (A) sert à obturer la pièce (B) après séparation, ce qui facilite la récupération des deux fractions lourdes et légères sans risque de mélange (les légers dans C et les lourds dans B).

Montage utilisé pour les séparations densimétriques par centrifugation (Parfenoff, 1967).



##### - Inconvénient du dispositif

Le principal inconvénient de la centrifugation réside dans la durée relativement longue des opérations (nécessité de traiter de petites quantités de produit à chaque passage pour obtenir de bons résultats, récupération des minéraux, etc...).

Il ne faut cependant pas oublier que cette technique est prévue pour la résolution de problèmes de granulométrie fines, de densités voisines, etc..., qui ne peuvent pratiquement pas être résolus par les procédés classiques, et il n'est pas exagéré de dire à ce propos qu'une centrifugeuse est un outil de travail indispensable à un laboratoire d'étude de minéraux en grains.