



## (12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 32519 B1** (51) Cl. internationale : **B07B 4/02; B07B 7/01**
- (43) Date de publication : **01.08.2011**

- 
- (21) N° Dépôt : **32466**
- (22) Date de Dépôt : **31.12.2009**
- (71) Demandeur(s) : **UNIVERSITE MOHAMMED V-AGDAL, AVENUE DES NATIONS UNIES, AGDAL, B.P 554 RABAT-CHELLAH (MA)**
- (72) Inventeur(s) : **Iz-Eddine El Amrani El Hassani**
- (74) Mandataire : **MOULOUDE EL MOUDANE**

- 
- (54) Titre : **SEPARATEUR DE MINERAUX PAR EFFET COMBINE DE LA GRAVITE ET D'UN JET D'AIR HORIZONTAL**
- (57) Abrégé : LE SÉPARATEUR PROPOSÉ VISE À AMÉLIORER LE PROCESSUS DE SÉPARATION DES MINÉRAUX PAR EFFET COMBINÉ DE LA GRAVITÉ ET D'UN JET D'AIR HORIZONTAL. LES 4 ÉLÉMENTS INNOVANTS DE CE SÉPARATEUR SONT : 1) UNE BANDE TOURNANTE À INCLINAISON ET VITESSE VARIABLES PERMETTANT L'ÉLIMINATION DES MINÉRAUX TABULAIRES ; 2) UN ENTONNOIR À SECTION RECTANGULAIRE PERMETTANT AUX GRAINS DE S'ÉCOULER À LA MANIÈRE D'UN "RIDEAU" MINCE ; 3) UNE ZONE D'INTERSECTION, ENTRE LE PLAN DE LA CHUTE LIBRE ET LE PLAN D'UN JET D'AIR HORIZONTAL, EXPOSANT LES GRAINS UNIFORMÉMENT À LA FORCE DU JET D'AIR ET ; 4) UN CONDUIT HORIZONTAL ÉVITANT LES DÉVIATIONS LATÉRALES DES GRAINS ET RÉDUISANT LES TURBULENCES. DESTINÉ AUX TRAVAUX DE LABORATOIRE POUR LE TRAITEMENT DE PETITES QUANTITÉS DE MÉLANGES GRANULAIRES, CE SÉPARATEUR PEUT ÊTRE UTILISÉ À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE POUR LA RÉCUPÉRATION DES MINÉRAUX D'UNE GRANDE VALEUR MARCHANDE.

### Abrégé

Le séparateur proposé vise à améliorer le processus de séparation des minéraux par effet combiné de la gravité et d'un jet d'air horizontal. Les 4 éléments innovants de ce séparateur sont : 1) une bande tournante à inclinaison et vitesse variables permettant l'élimination des minéraux tabulaires ; 2) un entonnoir à section rectangulaire permettant aux grains de s'écouler à la manière d'un "rideau" mince ; 3) une zone d'intersection, entre le plan de la chute libre et le plan d'un jet d'air horizontal, exposant les grains uniformément à la force du jet d'air et ; 4) un conduit horizontal évitant les déviations latérales des grains et réduisant les turbulences.

Destiné aux travaux de laboratoire pour le traitement de petites quantités de mélanges granulaires, ce séparateur peut être utilisé à l'échelle industrielle pour la récupération des minéraux d'une grande valeur marchande.

01 AOUT 2011

**SEPARATEUR DE MINERAUX PAR EFFET COMBINE DE LA GRAVITE ET D'UN  
JET D'AIR HORIZONTAL**

La présente invention consiste en un nouveau séparateur de minéraux qui permet d'améliorer les séparateurs antérieurs qui utilisent comme principe de séparation soit une projection mécanique des grains soit leur propulsion par un jet d'air. Ce nouveau séparateur est basé sur un effet combiné de la chute libre des grains minéraux et d'une poussée par un jet d'air horizontal qui permet de projeter ces minéraux sur des distances variables selon leur densité.

**Etat de la technique**

La séparation des minéraux est une opération très utile, voire indispensable, aussi bien pour la recherche scientifique que dans l'industrie. Dans le domaine de la recherche en pétrologie et minéralogie, la séparation des phases minérales, en vue de les caractériser et les analyser, reste un passage obligé. En industrie, la récupération des minéraux utiles (or, diamant, corindon, ilménite, zircon...) à partir des sédiments (sables de plage, alluvions, placers...) et le traitement des minerais (galène, blende, cassitérite...) après broyage du tout-venant, nécessitent des processus de concentration et de séparation appropriés.

Différentes techniques de séparation ont été développées pour répondre à la demande, de plus en plus exigeante en termes de qualité et de rendement, de la recherche et de l'industrie. Parmi les techniques les plus communes : 1) la séparation gravimétrique, utilisant des tables à secousses, des systèmes en hélice... ; 2) la séparation densimétrique, faisant appel à des liqueurs denses ; 3) la séparation magnétique, employant des électroaimants puissants ; 4) la séparation électrostatique, se basant sur l'électrisation ou l'ionisation des particules...

L'une des techniques de séparation qui s'avère simple et moins coûteuse est celle qui se base sur la gravité et le jet d'air pour séparer des minéraux de formes et de natures différentes.

Un premier brevet, basé sur ce processus, a été délivré en 1925 à la Société Anonyme des Ateliers Armand et Deoune (France), sous le n° 589.236, pour son invention intitulé "**Tireur à projection pour classement des matières solides**". Le processus proposé consiste à projeter avec force les particules dans l'espace sous un angle d'environ 45°. Pour une vitesse initiale bien réglée, les particules atteignent une hauteur et une portée qui dépendent de leur densité et de leur surface. Les particules sont ainsi projetées à des distances variables et sont récupérées dans un coffrage de captation à panneaux fixes.

Un brevet australien (n° 240.399) décrit un appareil désigné sous l'appellation "**An Apparatus of classifying materials**" qui utilise une accélération des particules par un jet d'air et leur projection dans une chambre où la séparation se fait par la différence de vitesse des particules. Un autre inventeur australien, considérant que le jet d'air, bien qu'à très faible vitesse, entraîne des turbulences qui peuvent affecter sérieusement la séparation, a proposé une amélioration du système (Brevet n° EP 0329.865 A1) exploitant la différence des énergies cinétiques entre les particules. Ces dernières sont accélérées en étant placées sur une bande ou passées entre des roues permettant de les projeter à la même vitesse. Ainsi les particules parcourent des distances variables, selon leur taille et leur densité, pour être collectées dans différents containers.

Il importe de signaler l'existence d'un appareil de récupération automatique des diamants qui se base sur le principe de la chute libre des grains et leur déviation à l'aide d'un jet d'air ; le concentré de grains de diamant est passé sur une bande qui les fait tomber sous l'effet de la gravité. Une source de Rayons X orientée sur les grains tombant permet de détecter les grains de diamants. Aussi, un jet d'air est-il envoyé sur ces diamants pour dévier leurs trajectoires et permettre leur récupération (Appareil présenté sur le site [www.diamants-infos.com](http://www.diamants-infos.com)).

Théoriquement, le principe physique (faisant intervenir la vitesse de projection, la gravité, le jet d'air, la densité des minéraux ...), utilisé par les séparateurs décrits plus haut, permet de s'attendre à une bonne séparation des particules solides d'un mélange selon leur densité. Or dans la réalité, les résultats obtenus ne sont que partiellement satisfaisants. Cela étant lié à 3 problèmes essentiels :

**Problème 1.** Généralement, on considère que les grains du mélange sont bien calibrés avec des formes homogènes et par conséquent la différence de leur masse serait principalement liée à leur densité. Or, les grains calibrés, qui ont certes des diamètres presque voisins peuvent présenter des formes très différentes (globuleuse, tabulaire ou aciculaire). Cette différence de forme fait que des grains de densités différentes pourraient avoir la même masse.

**Problème 2.** L'application d'un jet d'air sur un mélange granulaire statique fait que tous les grains ne sont pas soumis à la même force de l'air, étant donné que certains grains se trouvent derrière ou sous d'autres. En outre, les chocs entre les grains ainsi que les turbulences créées par le jet d'air, aussi faible soit-il et surtout lorsqu'il n'est pas canalisé et bien évacué, font que les trajectoires d'un grand nombre de particules sont aléatoires.

**Problème 3.** Les grains projetés mécaniquement dans l'espace suivent généralement une trajectoire parabolique et atteignent une portée qui dépend, en négligeant les frottements, de leur vitesse initiale et de l'angle de leur projection. En réalité, l'effet des frottements est peu significatif pour permettre la séparation de grains de densité voisine.

### **Présentation de l'invention**

Notre invention consiste en un séparateur de minéraux basé sur l'effet combiné de la chute libre et d'un jet d'air horizontal. Ce séparateur apporte 4 améliorations permettant de contribuer à la résolution des problèmes techniques posés par les séparateurs antérieurs.

Ce séparateur se compose de 9 éléments (figure 1) :

**Élément 1 :** Entonnoir primaire à tube cylindrique, muni d'un système électronique de contrôle du débit d'écoulement du mélange granulaire.

**Élément 2 :** Bande tournante à vitesse de rotation et plan d'inclinaison réglables et qui possède une surface rugueuse permettant d'accrocher les minéraux tabulaires.

**Élément 3 :** Collecteur de minéraux de forme tabulaire remontés par la bande tournante.

**Élément 4 :** Entonnoir secondaire, à tube long et à section rectangulaire permettant l'écoulement du mélange granulaire sous forme d'un "rideau" mince.

**Élément 5 :** souffleur d'air à fente rectangulaire horizontale et à pression réglable.

**Élément 6 :** Zone d'intersection entre le plan de la chute libre des grains et le plan du jet d'air, au niveau de laquelle se combinent les 2 effets précités permettant la séparation des minéraux.

**Élément 7 :** Conduit ouvert vers le bas et à paroi lisse permettant l'encadrement des trajectoires des minéraux projetés ainsi que la canalisation du jet d'air.

**Élément 8 :** Régulateur de pression permettant de maintenir une pression constante à l'intérieur de ce conduit.

**Élément 9 :** Boîtier à récipients pour recevoir les fractions des minéraux séparés.

L'opération de séparation des minéraux commence par un criblage du mélange granulaire qui entraîne sa subdivision en plusieurs tranches granulométriques. Chaque tranche peut ainsi être traitée par le séparateur proposé qui permet de le trier par espèces minérales. Les améliorations de ce séparateur et qui permettent de résoudre les problèmes énumérés ci-dessus sont apportées par les 4 éléments suivants :

- **La bande tournante** (élément 2, figure 1 et 2). L'ajustement du plan d'inclinaison et de la vitesse de rotation de la bande tournante permet, grâce à la nature de sa surface, d'accrocher les minéraux tabulaires et de les envoyer vers le collecteur (élément 3). Les minéraux, déjà calibrés, qui restent dans le circuit ont des formes globuleuses à arrondies et par conséquent des volumes presque identiques.

- **L'entonnoir secondaire** (élément 4, figures 1 et 3). Le tube long et à section rectangulaire de cet entonnoir permettent aux grains, d'une part, de s'écouler dans un seul plan sous forme d'un "rideau" mince et d'autre part, d'acquérir une accélération importante selon leur densité.

- **La zone d'intersection** (élément 6, figures 1 et 4). Il s'agit d'un élément fictif qui correspond à un espace d'intersection entre le plan vertical de la chute libre des grains et le plan horizontal du jet d'air. Cette zone permet d'exposer les grains d'une manière uniforme à la force du jet d'air horizontal.

- **Le conduit de canalisation** (élément 7, figures 1 et 5). Composé d'une matière très lisse, ce conduit permet, à la fois, d'éviter les déviations latérales des grains et de faciliter le drainage et l'évacuation de l'air projeté dans le boîtier (élément 9), ce qui réduit le reflux de l'air et les turbulences.

**Application numérique**

Les équations de mouvement permettant de calculer le déplacement d'une particule en chute libre soumise à une force horizontale sont :

$$\begin{array}{ll}
 [1] & x = (F/2m)t^2 + v_0t & \text{déplacement suivant l'axe horizontal} \\
 [2] & y = (g/2)t^2 & \text{déplacement suivant l'axe vertical}
 \end{array}$$

Où

F = Force horizontale (N) ; m = masse de la particule (kg) ; h = hauteur de la chute libre (m) ; t : temps (s) ; v<sub>0</sub> = vitesse initiale (m/s) ; g : accélération de la pesanteur (= 10 m/s<sup>2</sup>).

La trajectoire des particules, obtenue à partir des équations [1] et [2] est :

$$[3] \quad x = (F/mg)h + v_0\sqrt{2h/g}$$

Pour cette application, on considère un mélange de minéraux en grains calibré composé de 3 espèces minérales bien distinctes par leurs propriétés physico-chimiques: le quartz (SiO<sub>2</sub> ; ρ = 2,7 g/cm<sup>3</sup>), la barytine (BaSO<sub>4</sub>; ρ = 4,7 g/cm<sup>3</sup>) et la cassitérite (SnO<sub>2</sub>; ρ = 7,1 g/cm<sup>3</sup>). On tamise le mélange et on retient la tranche granulométrique correspondant à 4mm.

Les masses des 3 constituants granulaires du mélange, qu'on considère de forme sphérique, seront égales à :

$$\begin{array}{ll}
 - \text{Quartz} & \rightarrow m_q = 2,7(4/3 \pi 0,2^3) = 0,09.10^{-3}\text{kg} \\
 - \text{Barytine} & \rightarrow m_b = 4,7(4/3 \pi 0,2^3) = 0,16.10^{-3}\text{kg} \\
 - \text{Cassitérite} & \rightarrow m_c = 7,1(4/3 \pi 0,2^3) = 0,24.10^{-3}\text{kg}
 \end{array}$$

On fixant la hauteur de la chute (h) à 0,6m et on appliquant un jet d'air d'une force égale à 1.10<sup>-3</sup>N, les distances de projection des grains de quartz (x<sub>q</sub>), barytine (x<sub>b</sub>) et cassitérite (x<sub>c</sub>) seront, selon l'équation [3] égales à :

$$\begin{array}{l}
 x_q = 0,66 + 0,35v_0 \\
 x_b = 0,38 + 0,35v_0 \\
 x_c = 0,25 + 0,35v_0
 \end{array}$$

Par soustraction ( $x_q - x_b$ ,  $x_q - x_c$  et  $x_b - x_c$ ) on obtiendra les écarts des distances de projection entre les différentes espèces minérales. Ces écarts sont respectivement de l'ordre de 28cm, 41 cm et 13 cm et donc suffisamment importants pour séparer ces minéraux de densités différentes. On faisant augmenter la force du souffle d'air (F) on peut accentuer ces écarts de projection.

### Description détaillée des figures et mode de réalisation

Le séparateur de minéraux faisant l'objet de cette invention se compose de 9 éléments dont les caractéristiques et les fonctions sont explicitées à travers les figures présentées en annexe.

**Figure 1. Schéma général du séparateur proposé.**

**Figure 2. Entonnoir primaire** (élément 1) à ouverture d'alimentation et à tube de sortie circulaires (diamètres respectifs : 300 et 10 mm) et qui est muni d'une valve et d'un système électronique de contrôle du débit d'écoulement des grains.

**Figure 3. Bande tournante** (élément 2) à vitesse de rotation variable et qui présente un plan d'inclinaison réglable entre 25 et 45°. La surface rugueuse de la bande est munie de petits gradins qui permettent d'accrocher les minéraux de forme tabulaire, les remonter puis les verser dans un collecteur (élément 3). Le rôle de cette bande est fondamental dans le processus de séparation des minéraux selon leur densité, car l'élimination des grains tabulaires réduit l'écart de volume entre les grains restants.

**Figure 4. Entonnoir secondaire** (élément 4) qui possède une ouverture d'alimentation ovale (300x100 mm) et un tube long (60 cm) et à section rectangulaire (300x10 mm). Ce dernier permet aux grains de s'écouler à la manière d'un "rideau" mince et d'acquérir une accélération liée à leur densité.

**Figure 5. Souffleur d'air** (élément 5) à pression réglable et à fente de sortie d'air horizontale et de section rectangulaire (300x10 mm). Le montage est fait de manière à ce que le plan de la fente du souffleur soit orienté perpendiculairement au plan de la chute libre du mélange granulaire.

**Figure 6. Zone d'intersection** (élément 6) entre le plan de la chute libre des grains et le plan de sortie du jet d'air. L'ajustement et l'orientation perpendiculaire des 2 plans permet la combinaison des effets des 2 forces (la gravité et le jet d'air) ; combinaison qui constitue le principe de base de ce séparateur.

**Figure 7. Conduit horizontal** (élément 7) ouvert vers le bas et à paroi interne très lisse, il permet d'éviter les déviations latérales des grains projetés et de réduire les turbulences dues au souffle d'air. Un **régulateur de pression** (élément 8) placé à la même hauteur que la fente du souffleur facilite l'évacuation de l'air et permet de maintenir une pression constante à l'intérieur du conduit.

**Figure 8. Boîtier** (élément 9) d'une dimension moyenne de 1200 x 800 mm, il comporte des récipients alignés dans la direction du jet d'air et situés à l'aplomb du conduit de canalisation, de manière à recevoir les grains projetés. Un système à clapet permet la récupérer les lots de minéraux des différents récipients. Ces derniers sont fixés sur le boîtier à l'aide d'un système de glissière latérale, ce qui permet d'utiliser 4 à 6 récipients de largeurs différentes.

### Applications industrielles

Le séparateur proposé est destiné aux travaux de laboratoire pour le traitement de petites quantités de mélange. Il peut être utilisé dans des buts commerciaux pour le traitement de faible volume de mélange granulaire permettant la récupération de composants d'une grande valeur marchande.

## Revendications

1. Séparateur de minéraux **caractérisé en ce que** son principe de séparation se base sur l'effet combiné de la gravité et d'un jet d'air horizontal **et qu'**il se compose de 9 éléments : un entonnoir primaire ; une bande tournante ; un collecteur de minéraux tabulaires ; un entonnoir secondaire ; un souffleur d'air ; une zone d'intersection ; un conduit horizontal ; un régulateur de pression et ; un boîtier à récipients.
2. Séparateur de minéraux selon la revendication 1 **caractérisé en ce que** la bande tournante (élément 2), à vitesse de rotation et à plan d'inclinaison variables, est à surface rugueuse et munie de petits gradins permettant d'accrocher et d'éliminer les minéraux de forme tabulaire.
3. Séparateur de minéraux selon la revendication 1 **caractérisé en ce que** l'entonnoir secondaire (élément 4) possède un tube long, plat et à section rectangulaire, permettant l'écoulement du mélange granulaire à la manière d'un "rideau" mince.
4. Séparateur de minéraux selon les revendications 1, 2 et 3 **caractérisé en ce que** les grains en chute libre traversent une zone d'intersection (élément 6) où ils seront soumis d'une manière uniforme à un souffle d'air permettant de les projeter sur des distances variables selon leur densité.
5. Séparateur de minéraux selon les revendications 1, 2, 3 et 4 **caractérisé en ce que** la projection des grains est orientée par un conduit horizontal, ouvert vers le bas et à paroi interne très lisse qui permet en même temps de réduire les turbulences dues au jet d'air.
6. Séparateur de minéraux selon les revendications 1 à 5 **caractérisé en ce que** les dimensions des 9 éléments sont adaptées en fonction de la nature du mélange traité, des tranches granulométriques utilisées et de la finesse de la séparation souhaitée.

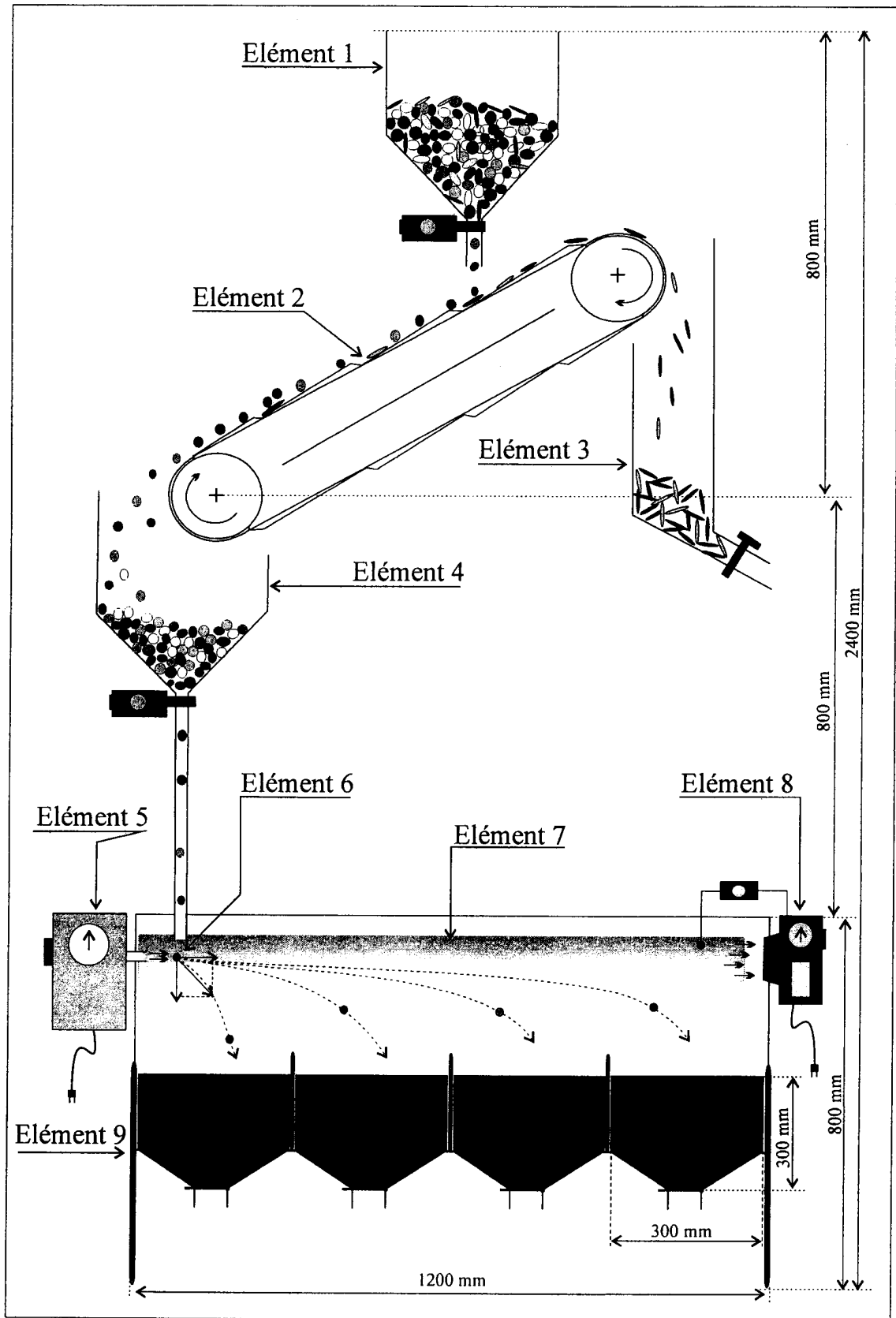


Figure 1



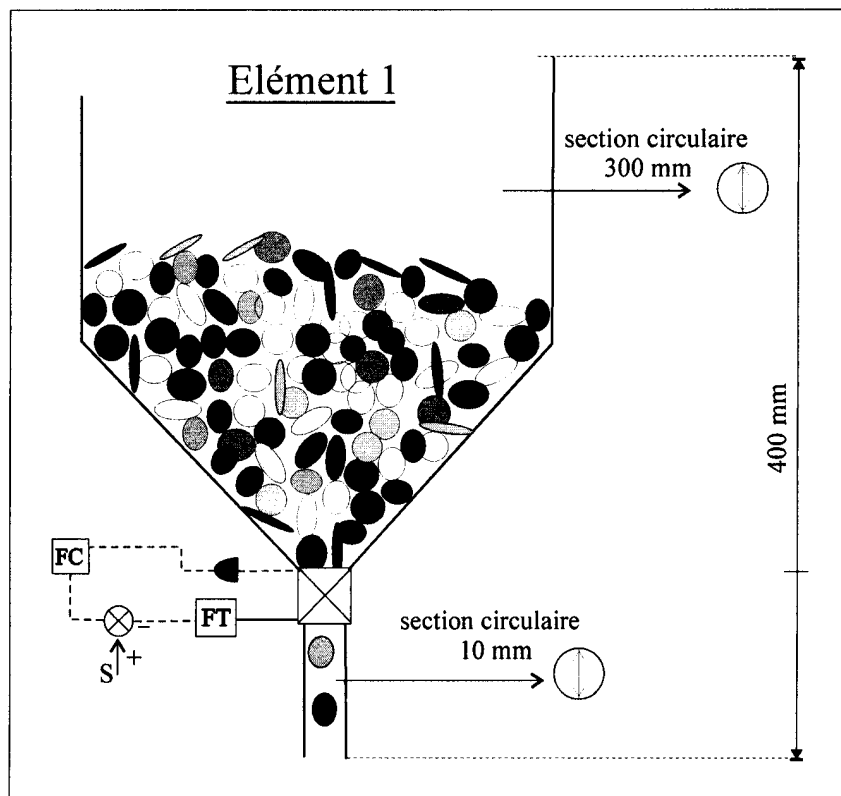


Figure 2

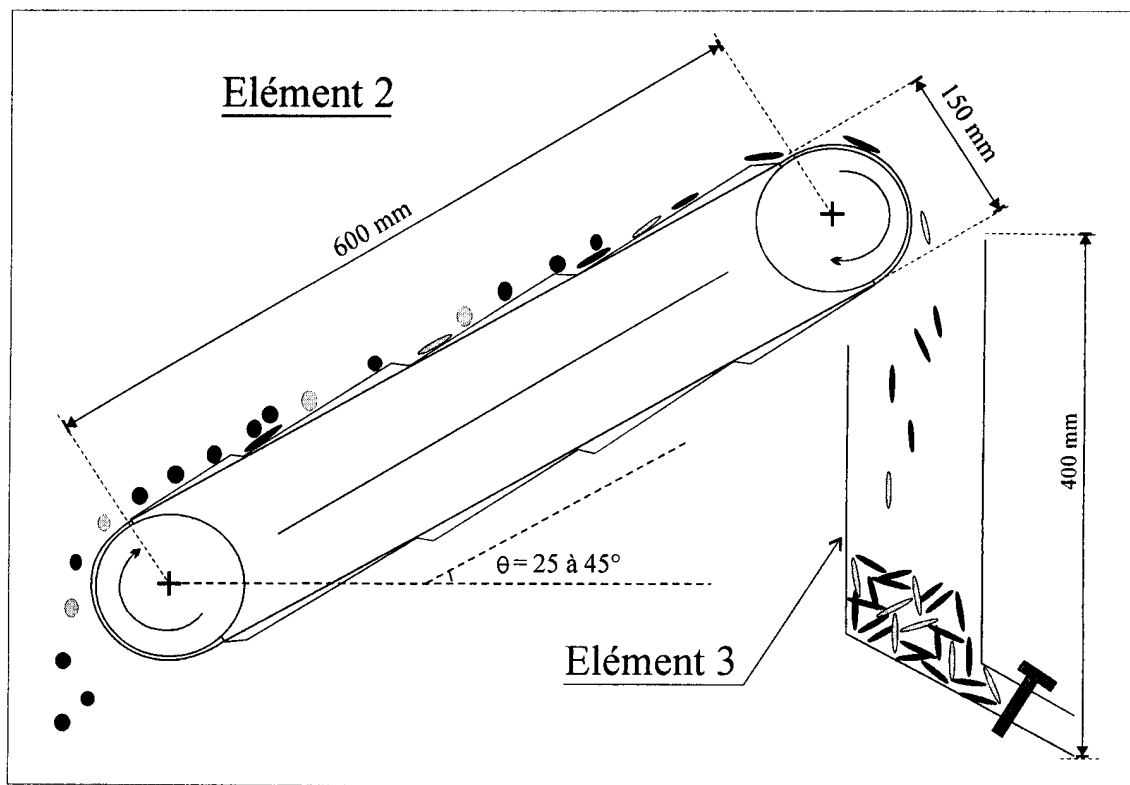


Figure 3

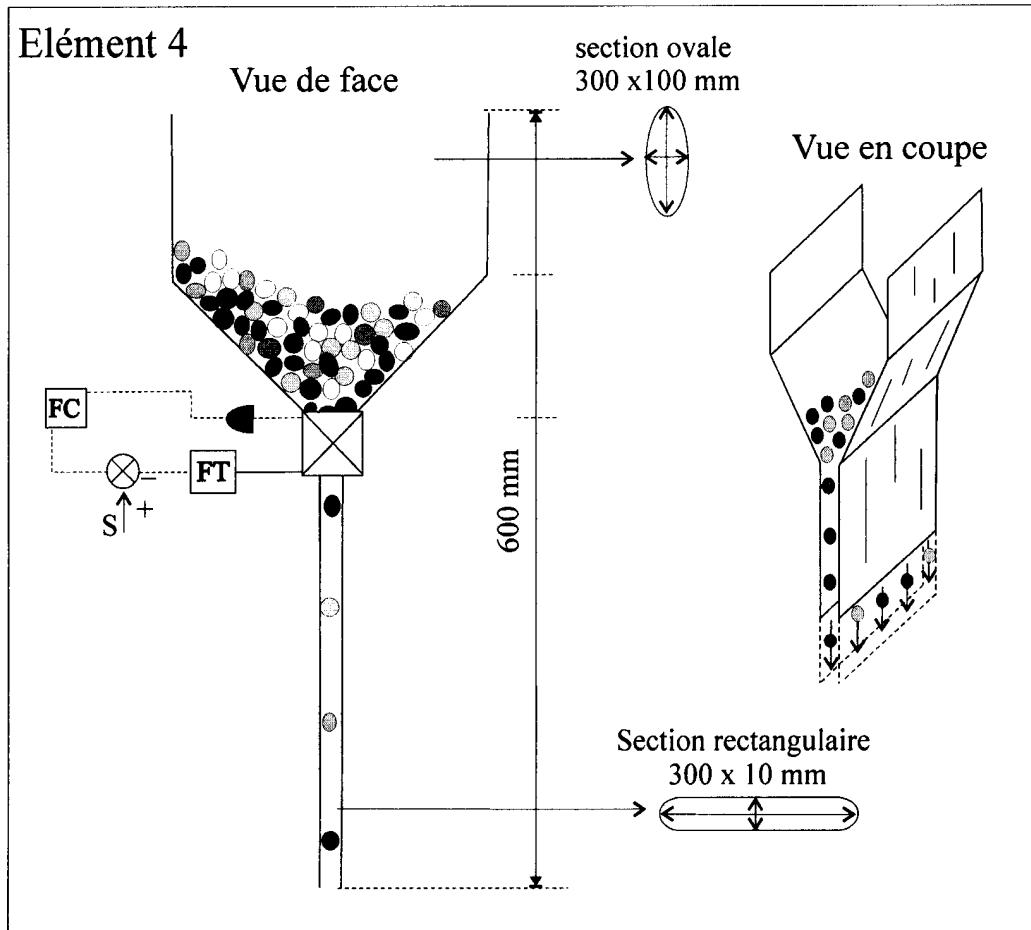


Figure 4

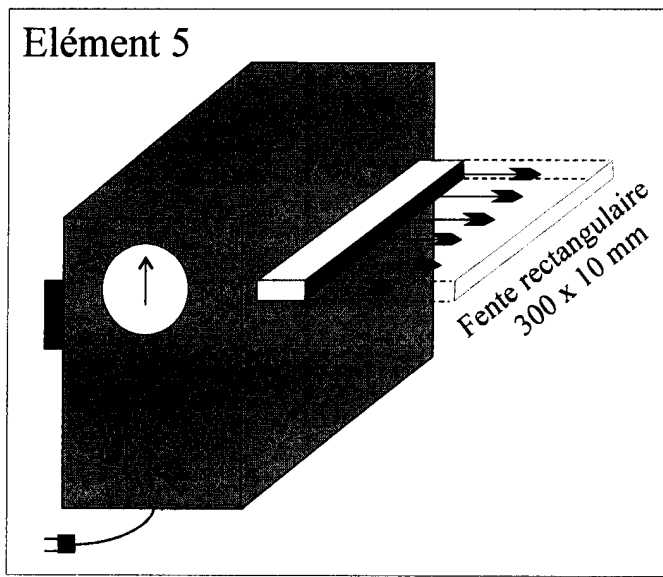


Figure 5

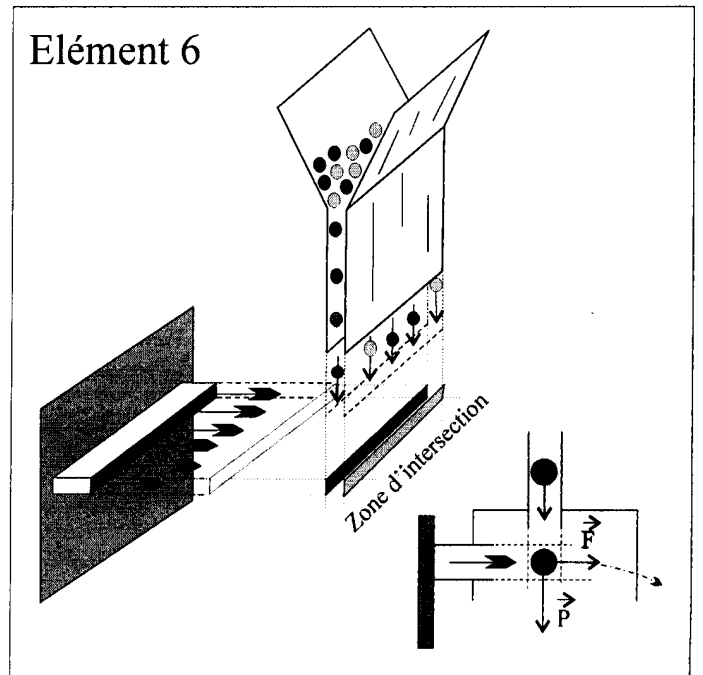


Figure 6

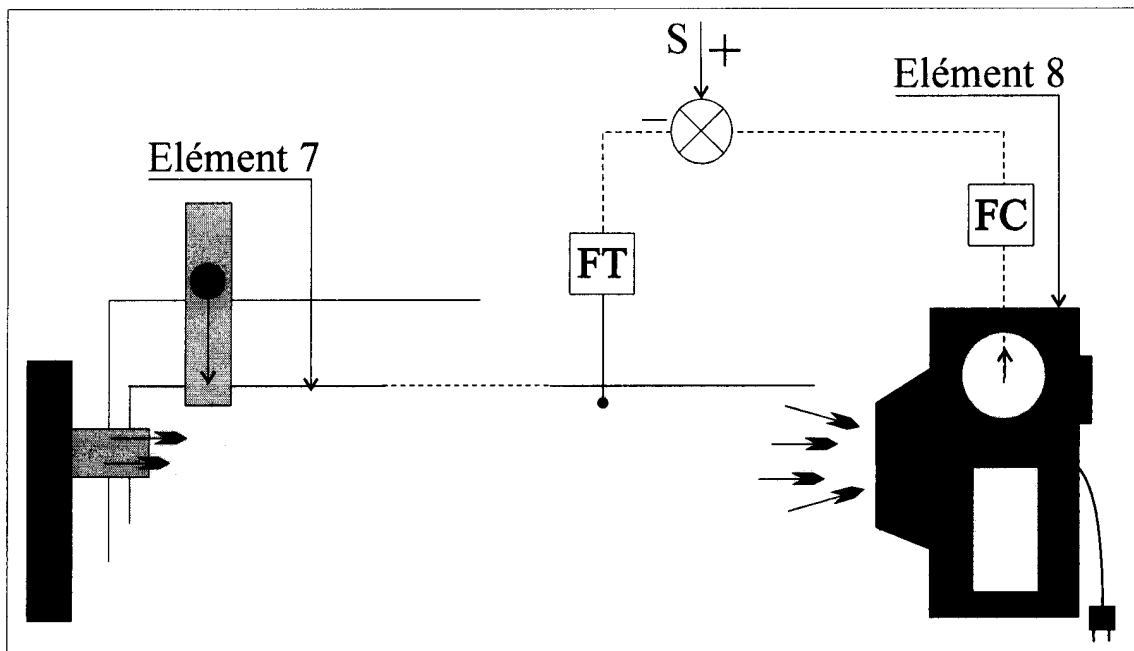


Figure 7

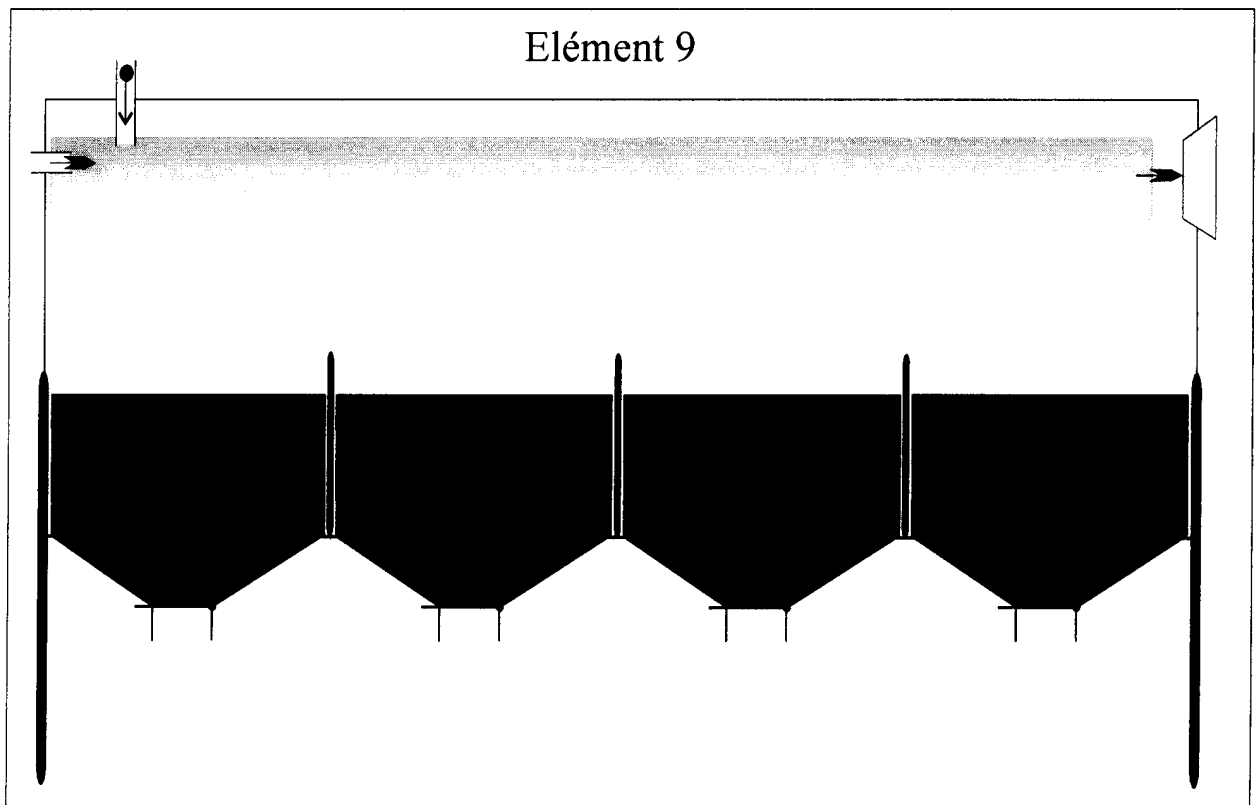


Figure 8