

السَّامِعُ الْأَمْرَ عَلِيمٌ



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة محمد خيضر – Biskra

بسكرة

كلية العلوم والتكنولوجيا

والتكنولوجيا

قسم الكيمياء الصناعية

الصناعية

Spécialité (Option) : MASTER(II)

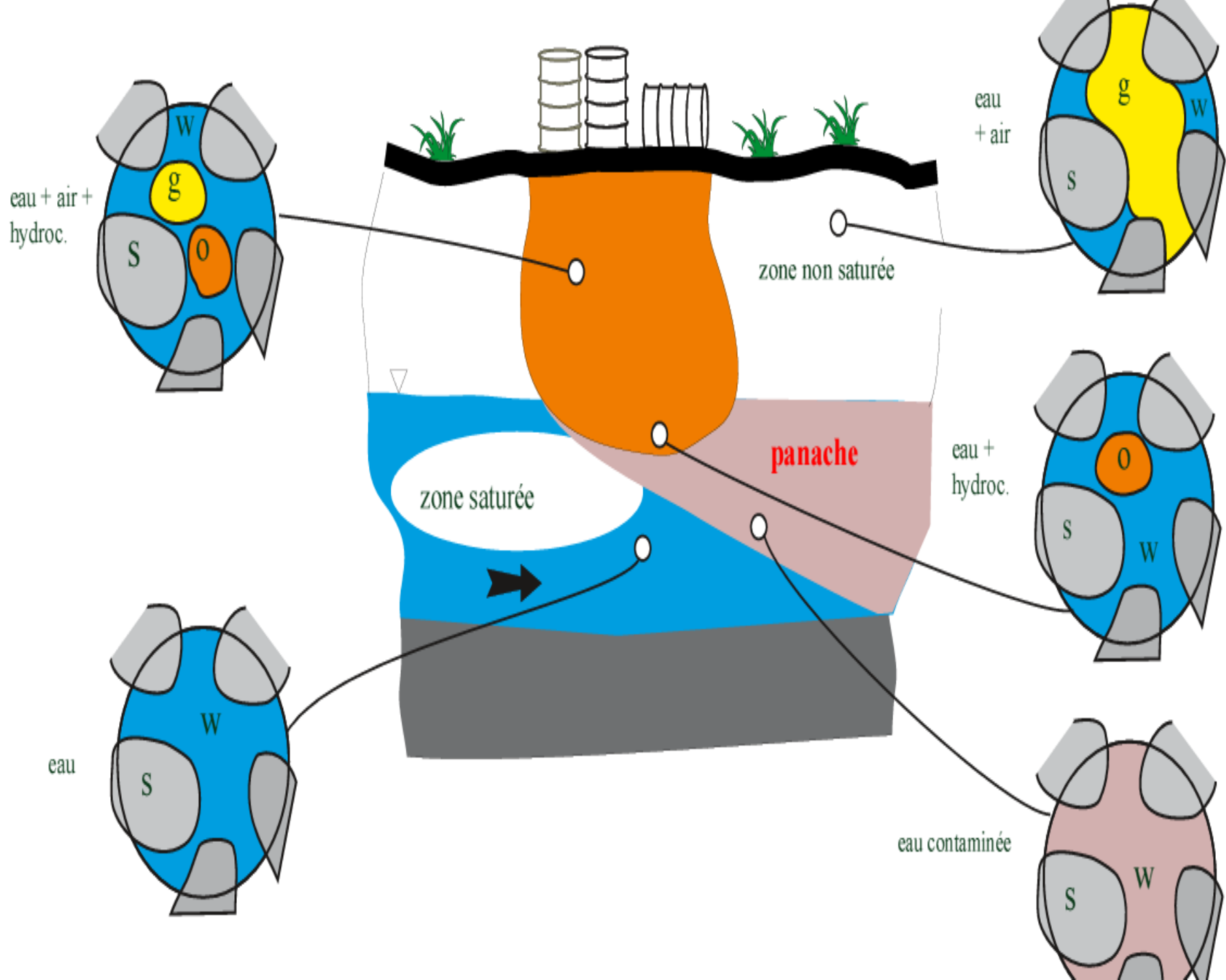
Génie chimique

MILIEU POREUX ET DISPERSÉS

Dr. Menasra H.

Contenu de la matière

I	
II	
III	
IV	
V	





Chapitre 1

Opérations sur les solides

I- Introduction

Dans toute les opérations chimiques ou pétrochimique nous rencontrons l'écoulement des fluides à travers les milieux poreux, dans ce cas la majorité des opérations industrielles font l'appel à la présence au moins deux phases (S-L, S-G) l'une des phases est stationnaire et l'autre est en mouvement ces opérations ont pour but l'amélioration de transfert de mouvement ou bien de chaleur : Le but du module est la compréhension- des phénomènes- d'écoulement bi phasique.

II-1 Définitions

- **MILIEU POREUX:**

Le milieu poreux est un milieu bi phasique dont une phase est constituée de la matrice solide et l'autre phase de vides interconnectés ou non, appelés pores.

**Roches, sols couche
d'argile, roches volcanique
roche de sédimentation**

**Bétons, ciments,
empilement de grains:
métalliques, plastique,
verre**

DONC

L'étude de la phase solide s'articule autour de deux aspects fondamentaux

On distingue

les particules minérales.

les particules organiques

La composition

+

de nombreuses modèles

théoriques de la géométrie

stochastique (processus

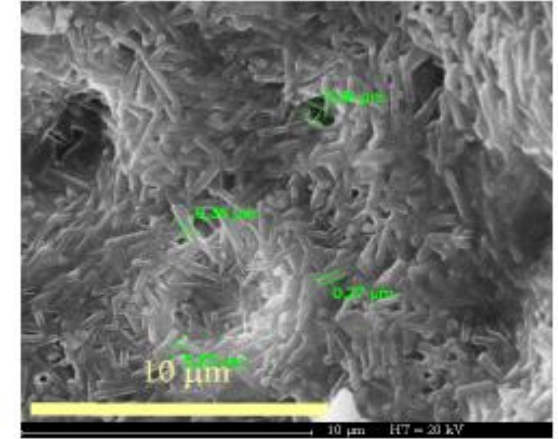
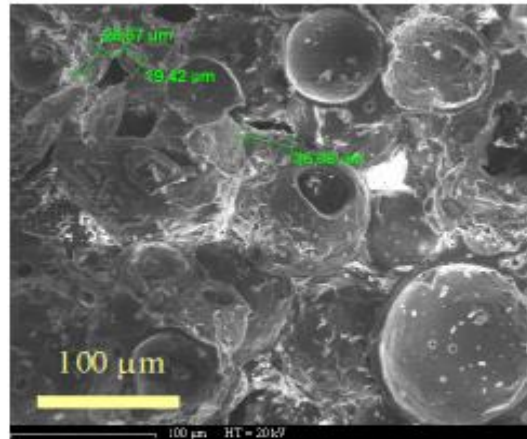
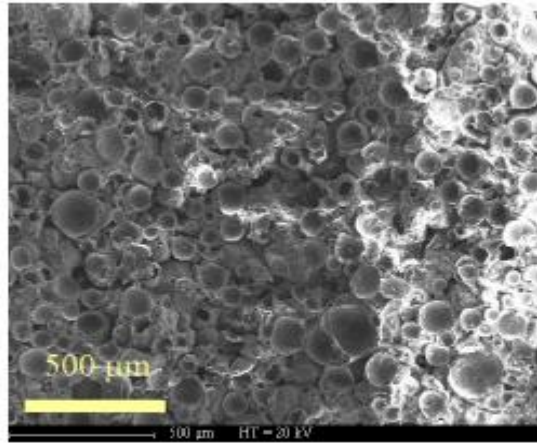
de points, de lignes, fibres...)

ont été développés pour faire

la description du solide

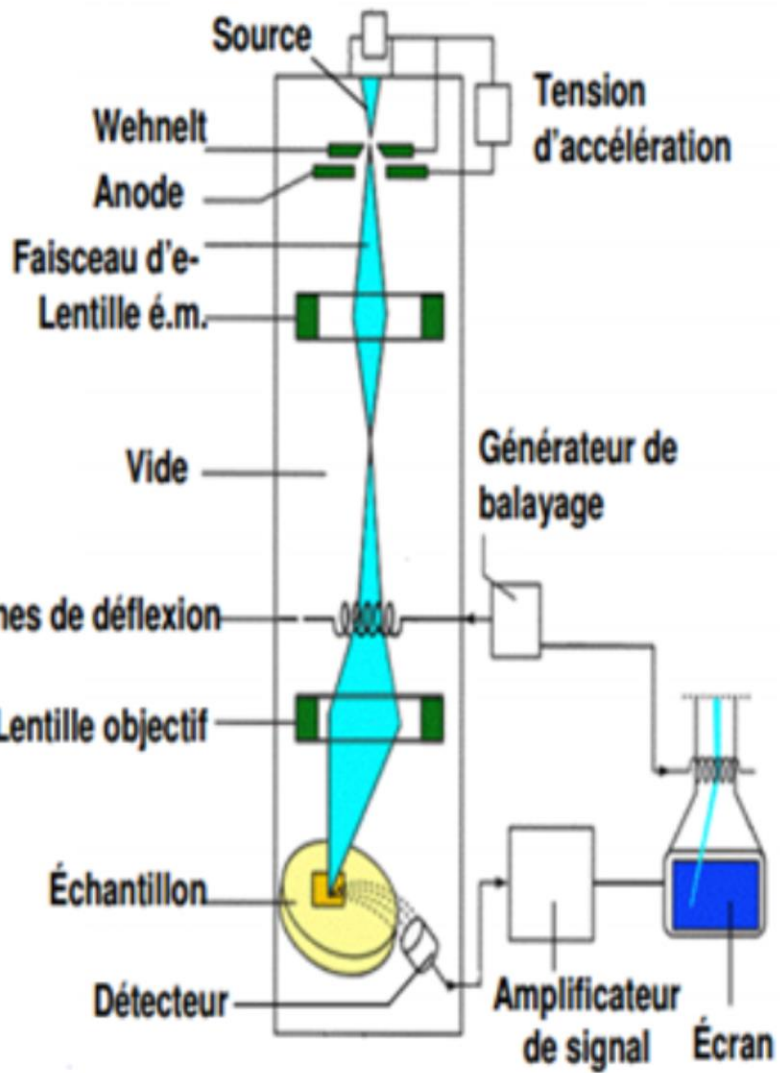
L'organisation

Appareillages



MEB

Fig. 1.2 Une brique spéciale observée à différents grossissements¹

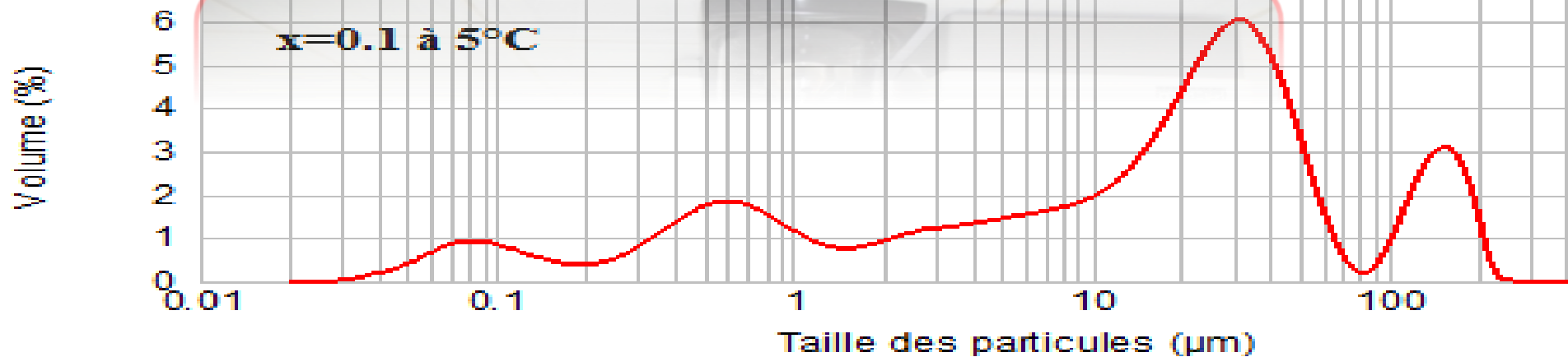


Le MEB de type JEOL JSM-6390lv

Analyse granulométrique



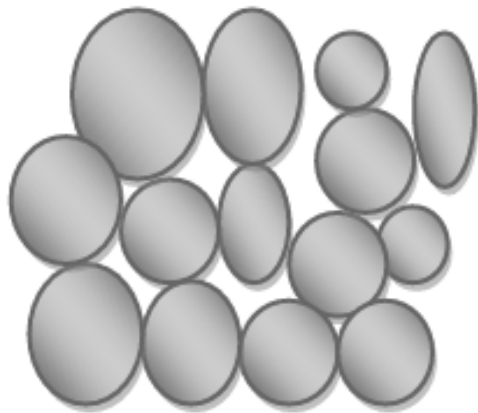
Distribution granulométrique des particules



Morphologie et intercommunication des vides

- L'étude morphologique des vides porte sur leur nature, leur forme, et leurs dimensions.

Deux grands types de vides (pores et fissures) qui caractérisent le milieu poreux



Sable et Gravier (**inter granulaire**)



Roches fracturée (**Fissures**)

Description d'un milieu poreux

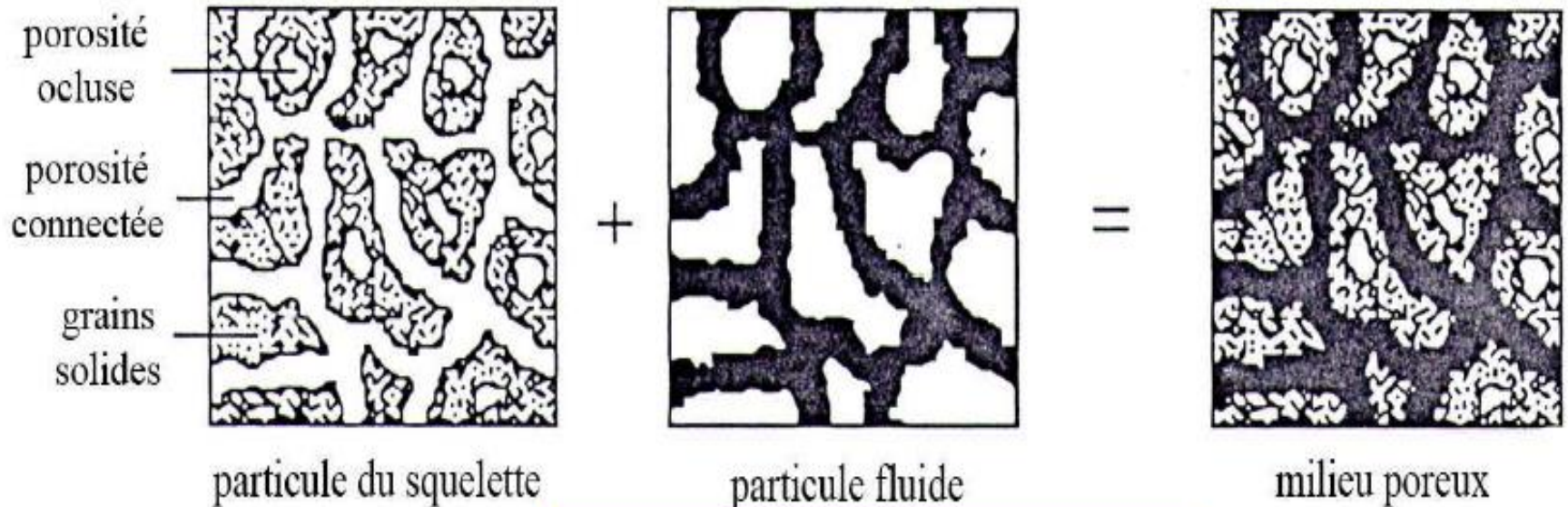
A) Porosité connectée :

C'est l'espace par l'intermédiaire duquel s'effectuent les échanges de masse fluide.

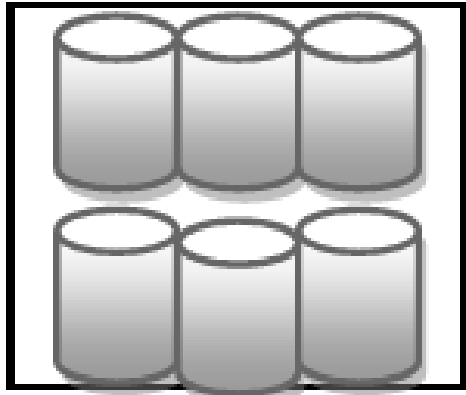
B) Porosité occluse :

Cet espace poreux n'est le lieu d'aucune filtration, il n'existe pas dans les sols sableux

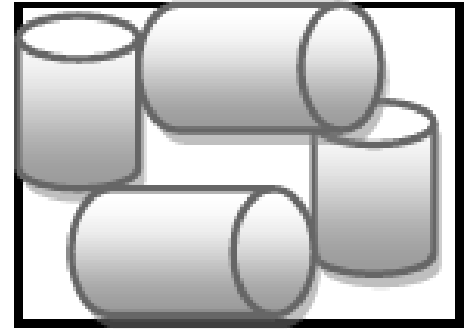
et argileux, il existe indiscutablement dans les roches. Cette porosité est le rapport du volume non solide au volume total.



TEXTURE DES EMPILEMENTS DES GRAINS



A



b

A- Empilement ordonné ou régulier : cas idéal.

b- Empilement désordonné ou irrégulier : c'est un système rencontré dans l'industrie.

Surface spécifique de lit

- C'est le rapport entre la surface et le volume [m⁻¹], donc:

$$a_{\text{lit}} = \frac{A}{V_T}$$

Question:

Trouvez la relation entre la surface spécifique de lit et la surface spécifique des grains

$$V_V = \mathcal{E} \cdot V_T$$

$$V_T = V_S + V_V$$

$$V_S = V_T - V_V = V_T - \mathcal{E}V_T.$$

$$\mathbf{a_{lit} = ag (1-\mathcal{E})}$$

$$a_{lit} = \frac{A}{V_T} = \frac{A(1-\mathcal{E})}{V_S} = ag (1-\mathcal{E})$$

LA MASSE VOLUMIQUE DU LIT

Soit;

ρ_s : la masse volumique de la Φ continu (Solide).

ρ_f : la masse volumique de la Φ discontinu
(Fluide).

ε : la porosité du lit.

Question:

Trouvez $\rho_{lit} = f(\varepsilon, \rho_s, \rho_f)$.

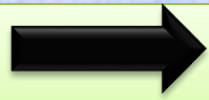
On a : la masse du lit est $m_{\text{lit}} = m_T = m_s + m_f$.

$$\rho_T V_T = \rho_s V_s + \rho_f V_f$$

$$\rho_{\text{lit}} V_T = \rho_s (1 - \varepsilon) V_T + \rho_f \varepsilon V_T$$

$$\rho_{\text{lit}} = (1 - \varepsilon)\rho_s + \varepsilon\rho_f$$

La suite: chapitre 1



PROPRIETES DES SOLIDES

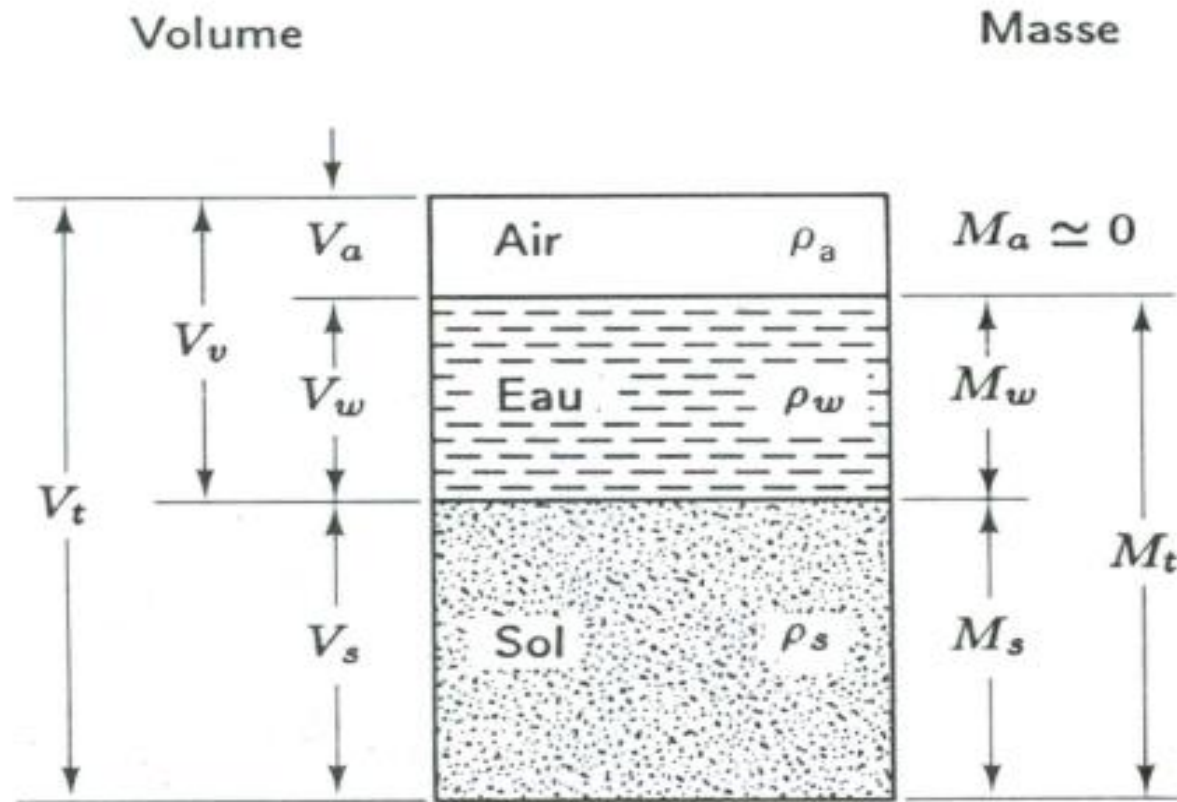


DIAGRAMME DES PHASES

Relations de phase

26

Indice des vides: $e = \frac{V_v}{V_s}$

Porosité: $n = \frac{V_v}{V_t}$ (souvent exprimée en %)

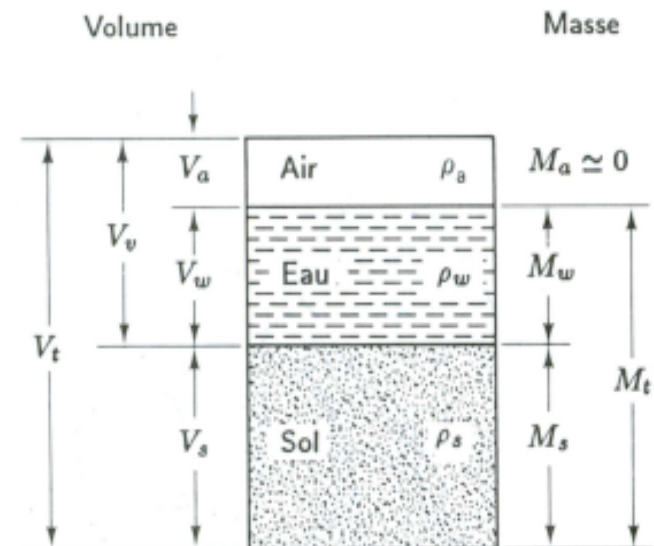
Relation entre n et e ?



$$n = \frac{e}{1 + e} \quad \text{ou} \quad e = \frac{n}{1 - n}$$

Degré de saturation: $S_r = \frac{V_w}{V_v}$ (exprimé en %)

Teneur en eau: $w = \frac{M_w}{M_s}$ (exprimée en %)



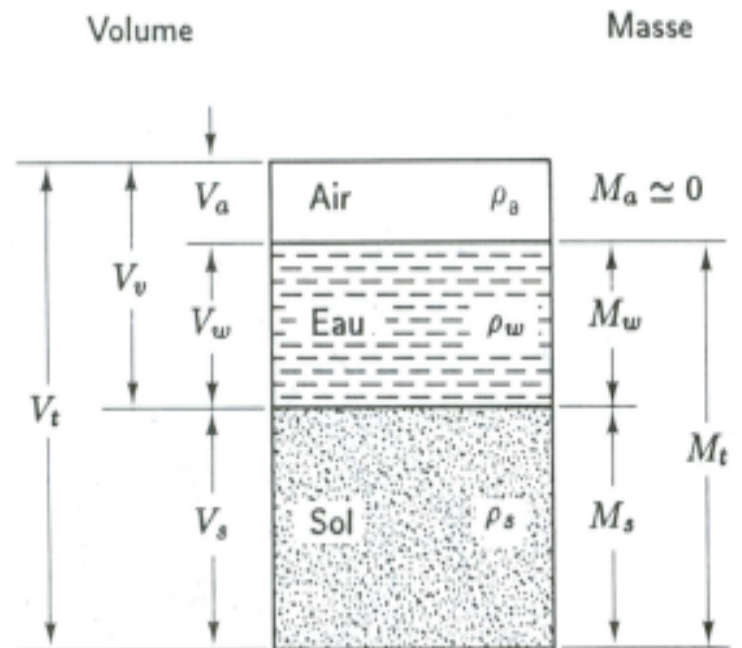
Masse volumique: $\rho = \frac{M_t}{V_t} = \frac{M_s + M_w}{V_t}$

Masse volumique des grains solides: $\rho_s = \frac{M_s}{V_s}$

Masse volumique de l'eau: $\rho_w = \frac{M_w}{V_w}$

Masse volumique du sol sec: $\rho_d = \frac{M_s}{V_t}$

Masse volumique du sol saturé:
($S_r=100\%$) $\rho_{sat} = \frac{M_s + M_w}{V_t}$



Masse volumique du sol déjaugé:

$$\rho' = \rho_{sat} - \rho_w$$

– PROPRIETES DES SOLIDES

➤ SPHERE EQUIVALENTE

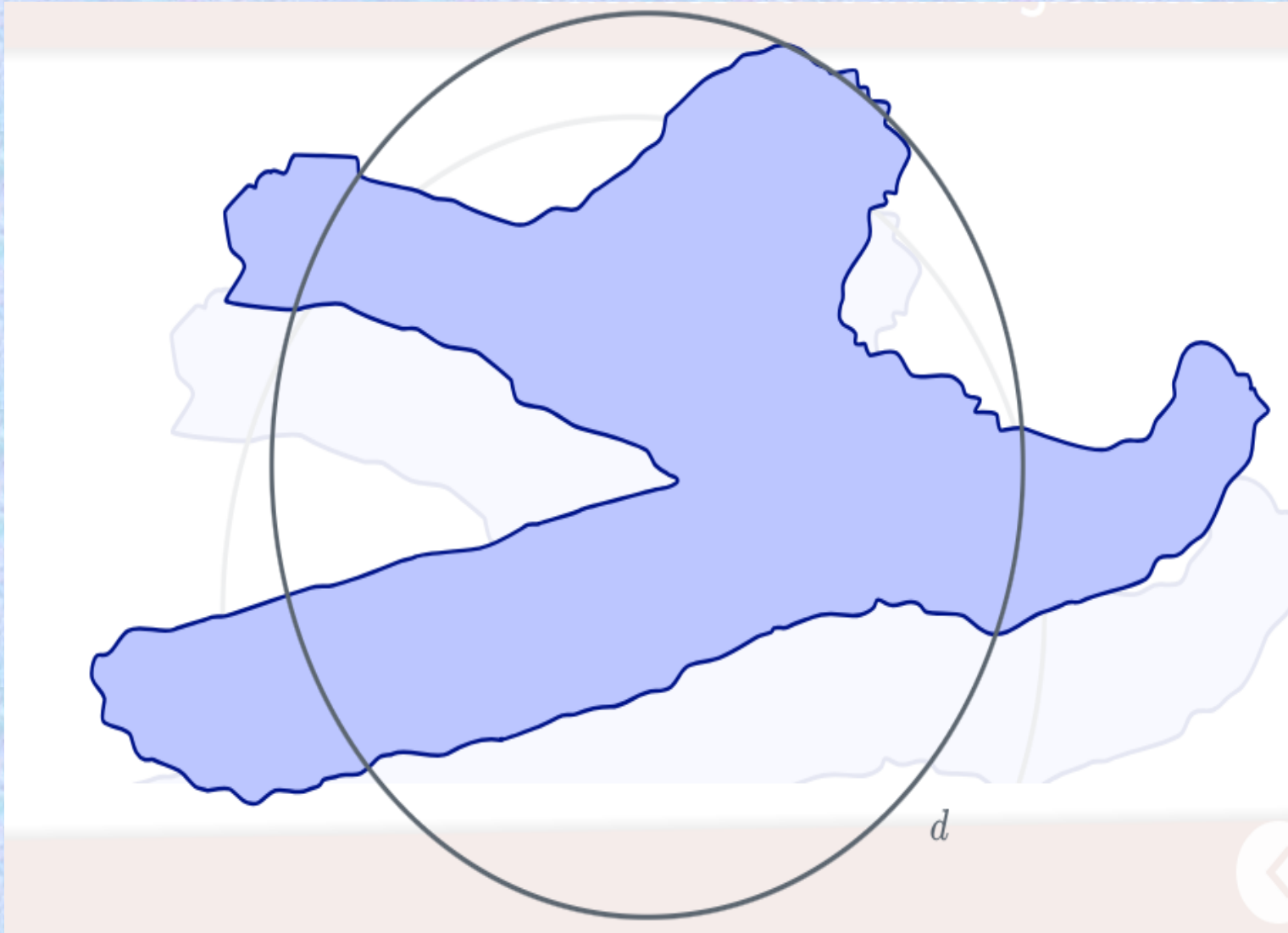
Soit un grain de forme quelconque qu'on veut caractériser par une dimension, pour cela certaines **méthodes directes** donnent le diamètre des particules exemple: **tamissage**.

Par contre la **sédimentation, la filtration** sont **des méthodes indirectes** qui nous donnent des grandeurs liés soit au volume soit à la surface des particules, ces méthodes conduisent à introduire à la notion de **la sphère équivalente à la particule**.

- Soit une particule quelconque.

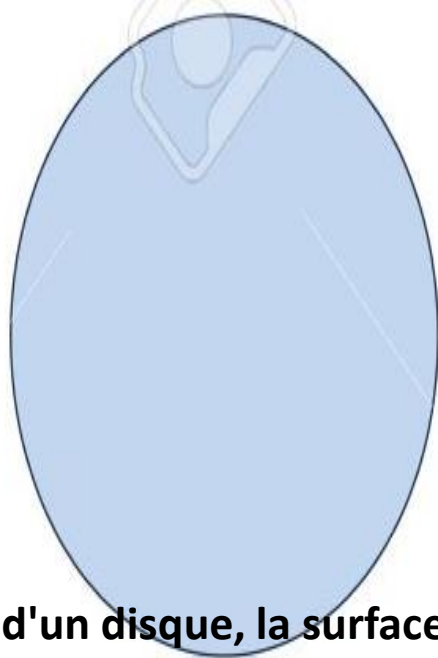
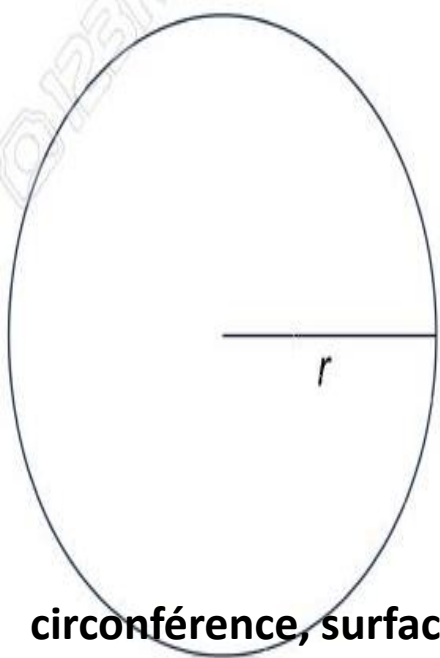
A_p : surface externe de la particule, cette particule est non poreuse.

V_p : volume de la particule.



- 1/ Diamètres de sphère équivalente
- 2/ Diamètres de cercle équivalent
- 3/ Diamètres statistique

Formules mathématiques des cercles et des sphères



circonférence, surface d'un disque, la surface d'une sphère - volume d'une sphère.

$$C = 2\pi r$$

$$A = \pi r^2$$

$$A = 4\pi r^2$$

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

- diamètres de sphère équivalente,

Les diamètres de sphère équivalente

	Nom	Propriété équivalente de la sphère	Expression
d_V	Diamètre en volume	Volume	$V = \frac{\pi}{6} d_V^3$
d_S	Diamètre en surface	Surface	$S = \pi d_S^2$
d_{SV}	Diamètre en surface spécifique	Surface/volume	$d_{SV} = \frac{d_V^3}{d_S^2}$

On a: $\mathbf{a_p} = \frac{Ap}{Vp} = \frac{\pi d_A^2}{\frac{\pi}{6} d_V^3} = \mathbf{6} \frac{d_A^2}{d_V^3} \dots \dots \dots \mathbf{1}$

D'autre part on a:

$\mathbf{a_p} = \mathbf{a_{sph}} = \frac{A}{V} = \frac{4 \pi R^2}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{3}{(\frac{d}{2})} = \frac{6}{d_{ss}} \dots \dots \dots \mathbf{2}$

$\mathbf{1=2} \Leftrightarrow \mathbf{6} \frac{d_A^2}{d_V^3} = \frac{6}{d_{ss}} \Leftrightarrow \mathbf{d_{ss} = \frac{d_V^3}{d_A^2}}$

diamètres de cercle équivalent,

Les diamètres de cercle équivalent

	Nom	Propriété équivalente du cercle	Expression
d_a	Diamètre de surface projetée	Surface projetée, particule stable	$A = \frac{\pi}{4} d_a^2$
d_c	Diamètre en périmètre	Périmètre extérieur	$P = \pi d_c$

- diamètres statistiques.

Les diamètres statistiques

	Nom	Dimension mesurée
d_F	Diamètre de Feret	Distance entre deux tangentes sur des côtés opposés de la particule
d_M	Diamètre de Martin	Longueur moyenne de corde sur la surface projetée de la particule

Dans le cas des diamètres statistiques, on mesure une dimension linéaire parallèlement à une direction fixe. Cette notion est utile en microscopie.

Comment utiliser les diamètres équivalents

Comme il a été vu dans la partie précédente, il convient de représenter les particules par le diamètre équivalent qui correspond le mieux aux applications auxquelles celles-ci sont destinées.

Si par exemple des particules doivent être utilisées pour former un milieu poreux au travers duquel doit s'écouler un fluide, c'est le **dsv** qu'il faudra employer, et donc mesurer. Si c'est le volume des particules qui est important, il faudra manipuler le **dv**.

Définition de différents facteurs de forme

Introduction

La notion de sphère équivalente (ou cercle) qui permet de représenter des particules de formes quelconques par une seule valeur, est très utilisée mais cette pratique est dans certains cas beaucoup trop réductrice. Pour les particules de formes très irrégulières impliquées dans des procédés où la forme joue un rôle important, il est nécessaire d'affiner la description granulométrique et de décrire le grain non plus à l'aide d'un paramètre unique, mais en lui adjoignant des paramètres supplémentaires qui tentent de quantifier dans quelle mesure l'objet étudié s'éloigne de la sphère modèle : ce sont les facteurs de forme.

Facteurs d'allongement et d'aplatissement :

- Indice d'allongement = largeur / longueur
- Indice d'aplatissement = épaisseur / longueur

Facteurs de sphéricité : On peut définir plusieurs facteurs de sphéricité, selon la sphère équivalente considérée. Les principaux facteurs de sphéricité sont développés ci-dessous. Il en existe d'autres, mais tous se ramènent à l'un de ceux-là ou à l'une de leurs combinaisons. Si les objets considérés sont des sphères, ces facteurs sont égaux à 1.

$$\varphi_V = \frac{\text{surface de la sphère de même volume que la particule}}{\text{surface de la particule}}$$

$$\varphi_A = \frac{\text{volume de la sphère de même surface que la particule}}{\text{volume de la particule}}$$

$$\varphi_a = \frac{\text{surface de la sphère de même surface spécifique que la particule}}{\text{surface de la particule}}$$

Exercice3

- 1/ Un échantillon de sol et son contenant ont une masse de 462g. Après séchage de l'échantillon toute une nuit d'étude, la masse du sol et de son contenant est de 364g. Quelle est la teneur en eau du sol?
- 2/ Un échantillon de sol a une masse de 129,1 g et un volume de 56,4 cm³. La masse des grains est de 121,5 g. Les grains solides ont une densité de 2,7. Calculez:
 - La teneur en eau,
 - L'indice des vides e ,
 - La porosité n .

Exercice4 :

Établir des relations entre les différents facteurs de sphéricité (surface, volume et surface spécifique).

Calculer les trois facteurs de sphéricité pour un cube d'arête $L= 1$

V- ANALYSE GRANULOMETRIQUE

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur des grains d'un matériau et le pourcentage des grains de chaque grosseur. Certaines méthodes d'analyses granulométriques sont dites ensemblistes, où des données globales sont récupérées et traitées à l'aide d'un modèle, et d'autres séparatives, les particules sont alors triées puis mesurées ou comptées. La classification choisie ici est fondée sur les principes de mesure des appareils

On distingue ainsi :

METHODES DIRECTES

➤ Pied à coulisse.

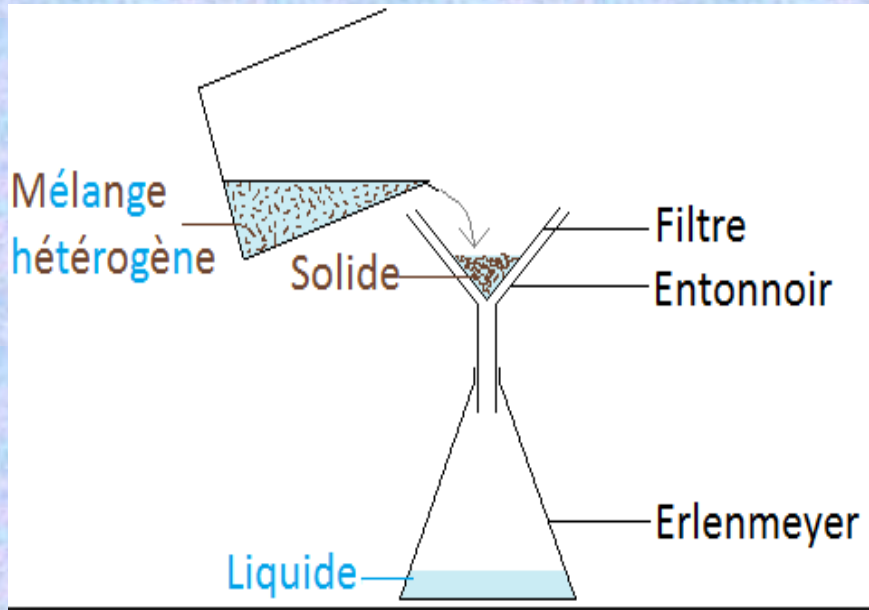


➤ Tamisage.



V.2- METHODES INDIRECTES

➤ Filtration: Cette méthode pour les particules de diamètre entre 1- 50 μ m.



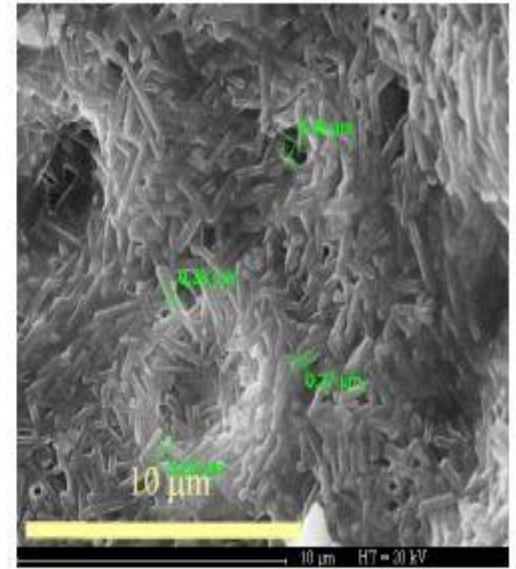
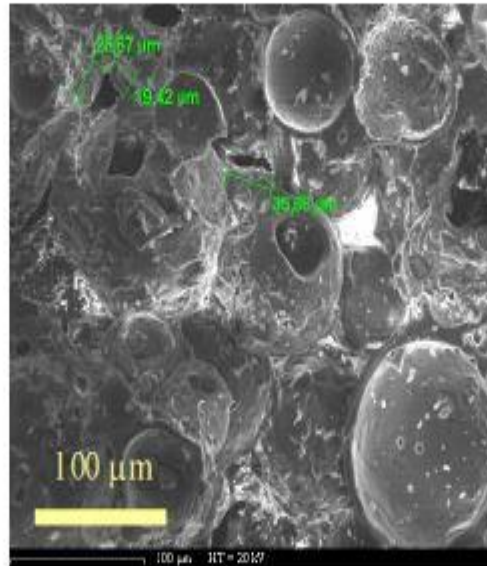
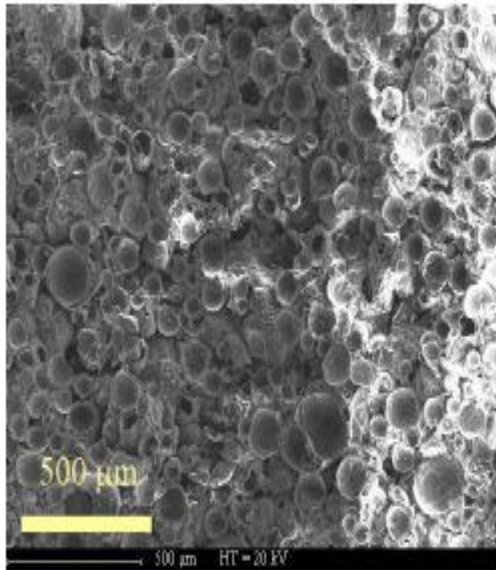
➤ **Centrifugation:** Pour les particules de $\varnothing 0.5\mu\text{m}$ ou encore ultracentrifugation pour les particules de $0.01\mu\text{m}$ de diamètre



Diviseur d'échantillons à rotation HAVER RPT

Les méthodes basées sur la dispersion de la lumière par le milieu à caractériser

➤ Spectroscopie acoustique (ultrasonique): Cette méthode est utilisée pour la mesure de la taille des particules dans les systèmes concentrés



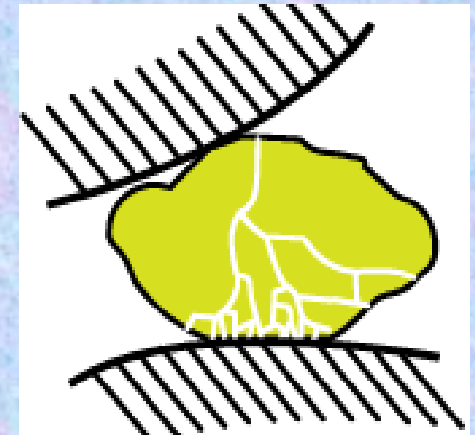
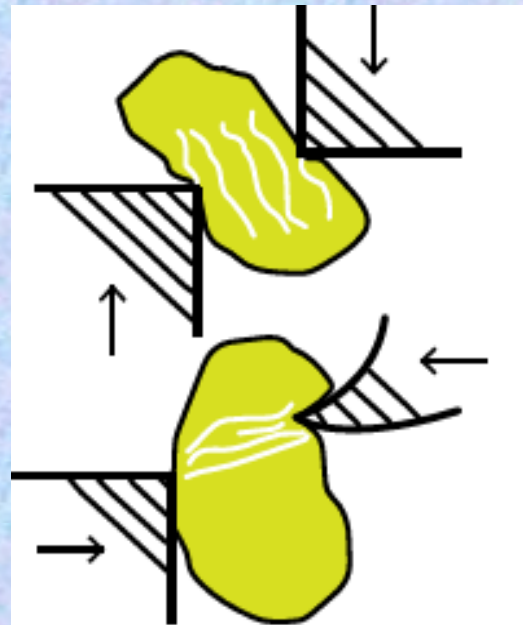
VI- BROYAGE

(REDUCTION DES TAILLES DE PARTICULES)

Le broyage c'est le concassage, il permet la libération des grains de matériaux pour l'obtention d'une composition granulométrique nécessaire des particules (roches).

fragmentation

**Matériau
malléable**

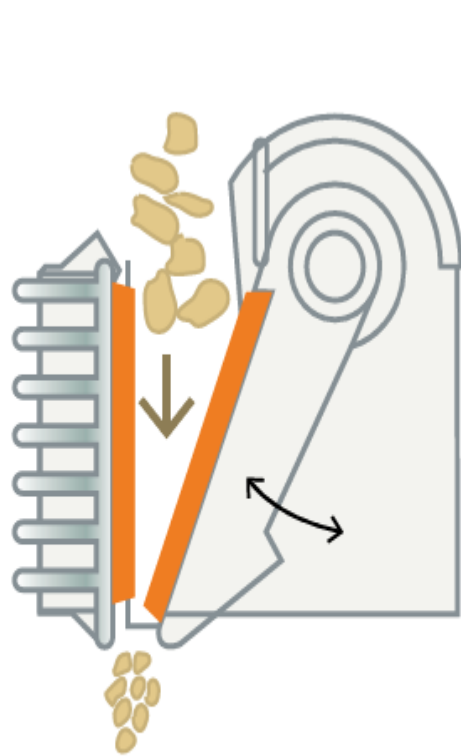


**Matériau
friable**

Dans ce procédé la destruction des matériaux est réalisée par les forces extérieures mécaniques.

Suivant les dimensions maximales des morceaux à concasser et à broyer, on distingue les stades suivants de la destruction des roches:

- 1. Concassage grossier (primaire): de 1200-500 à 350-100 mm;**
- 2. Concassage secondaire (intermédiaire): de 350-100 à 100-40 mm;**
- 3. Concassage fin: de 100-40 à 30-10 mm;**
- 4. Broyage préalable: de 30-10 à 6-2 mm;**
- 5. Broyage fin: de 6-2 à 1-0,5 mm;**
- 6. Broyage surfin: de 1-0,5 à 0,1-0.005 mm.**



Concasseur
à machoire



Concasseur
giratoire



Concasseur
conique

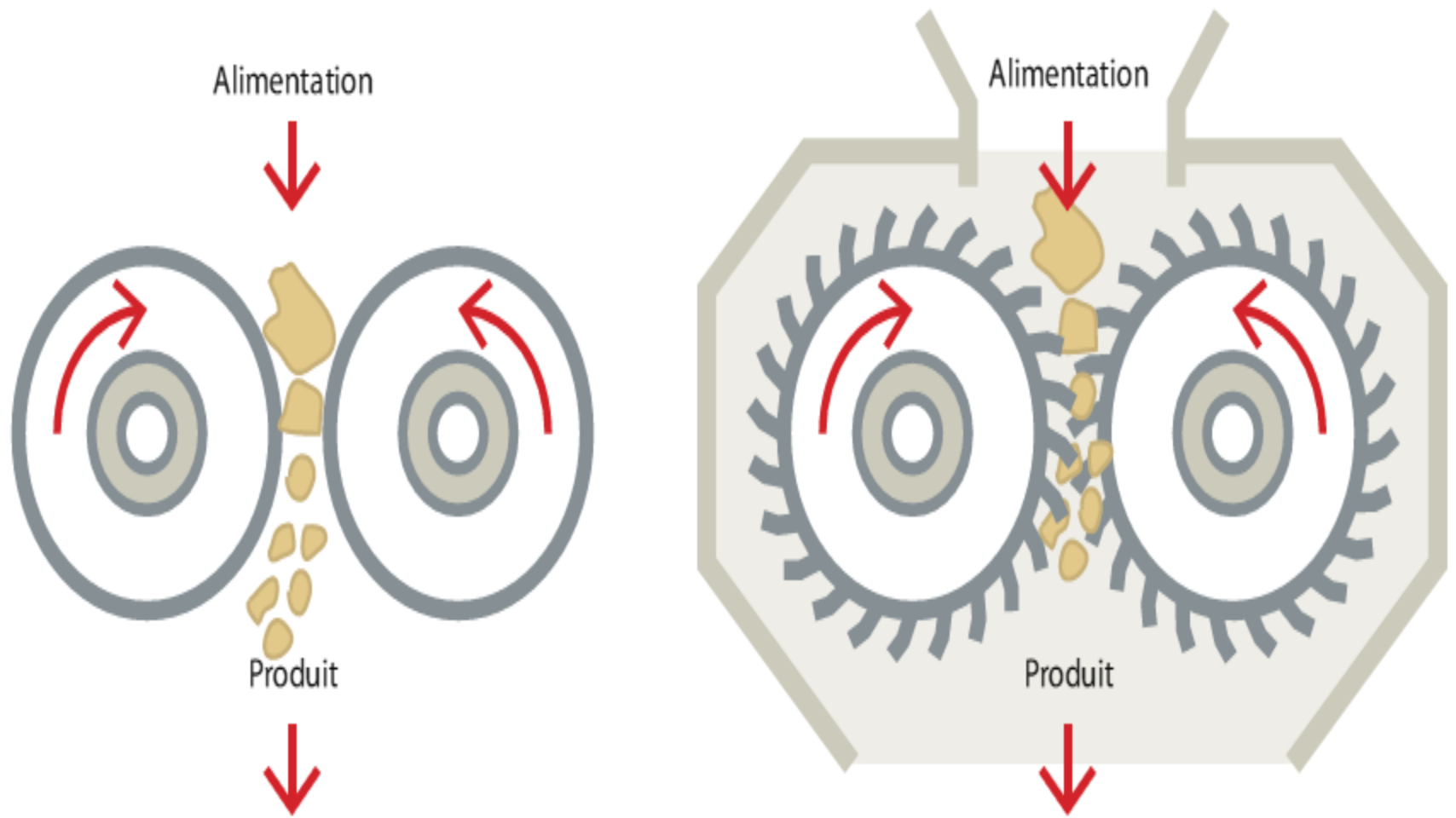
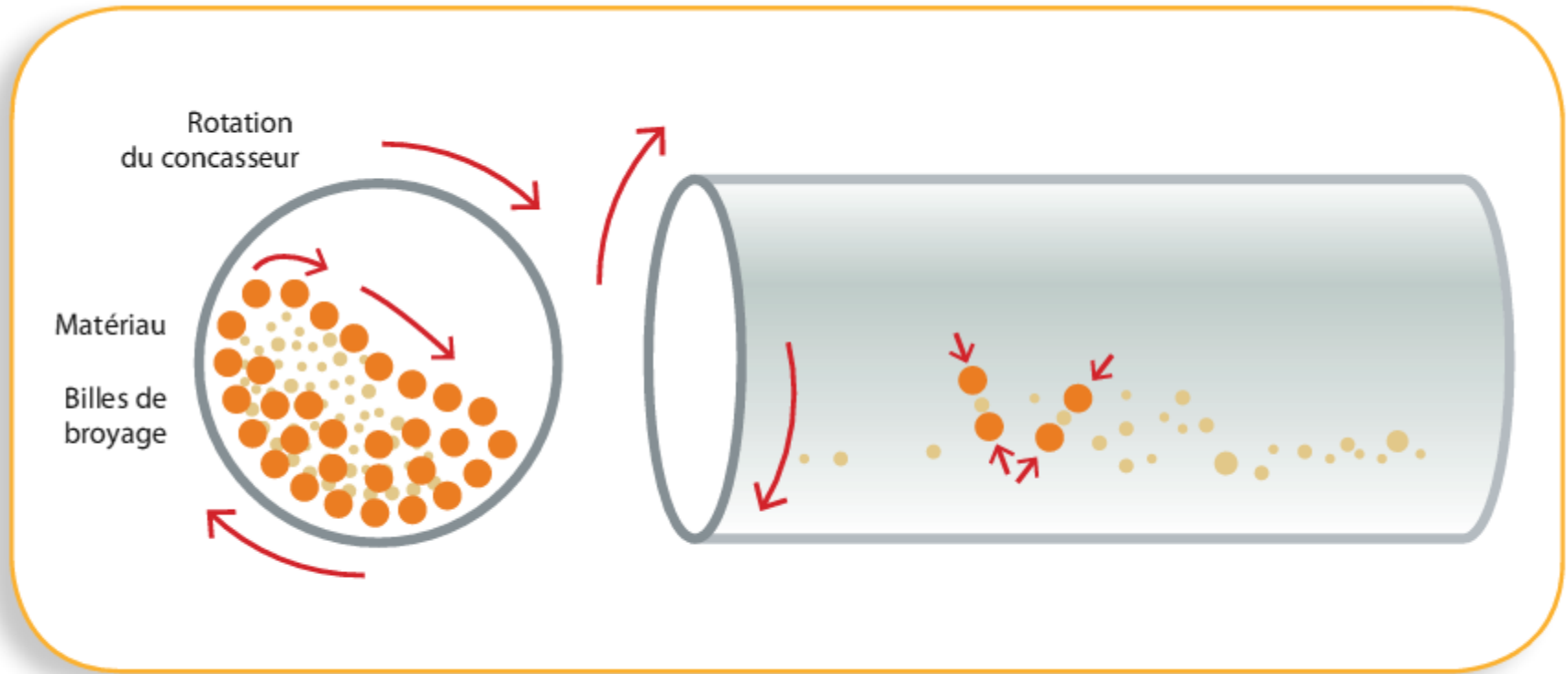


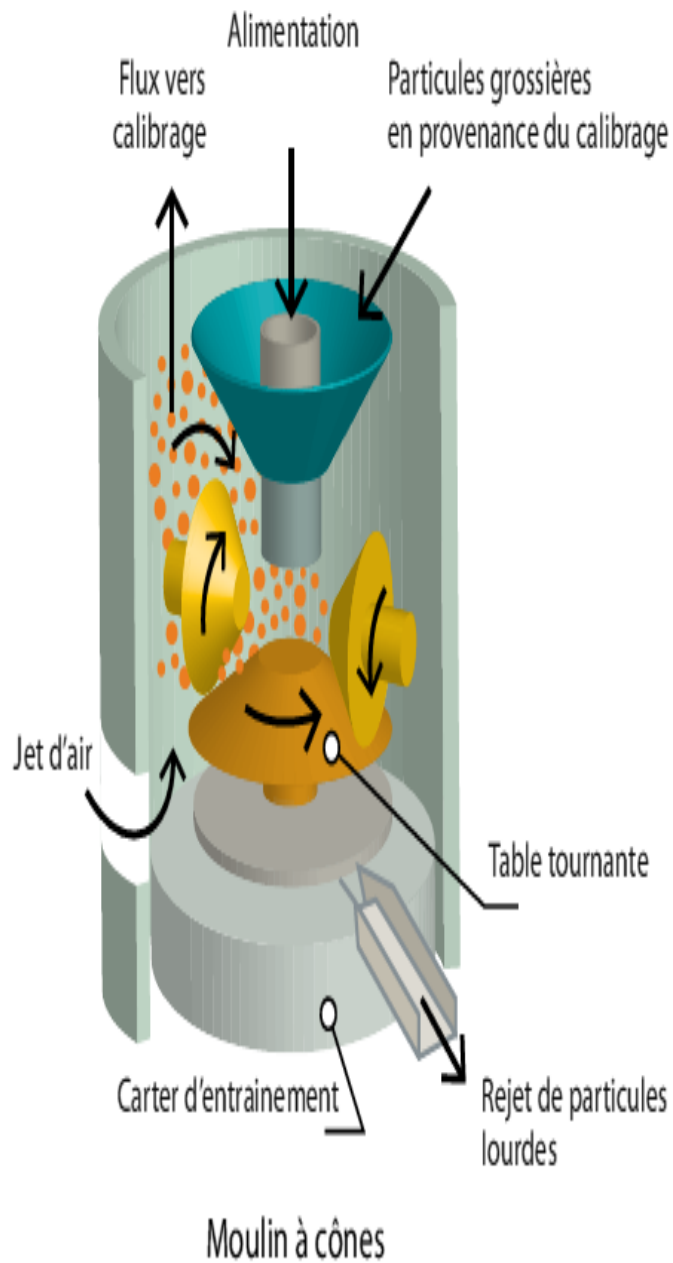
Figure 8 : Principe de concasseurs à rouleau (à gauche) lisse et denté (à droite) [1]

Concasseurs à rouleau lisse et denté.
Sources : alibaba.com, 911metallurgist.com.





Principe de broyeur à boulets.



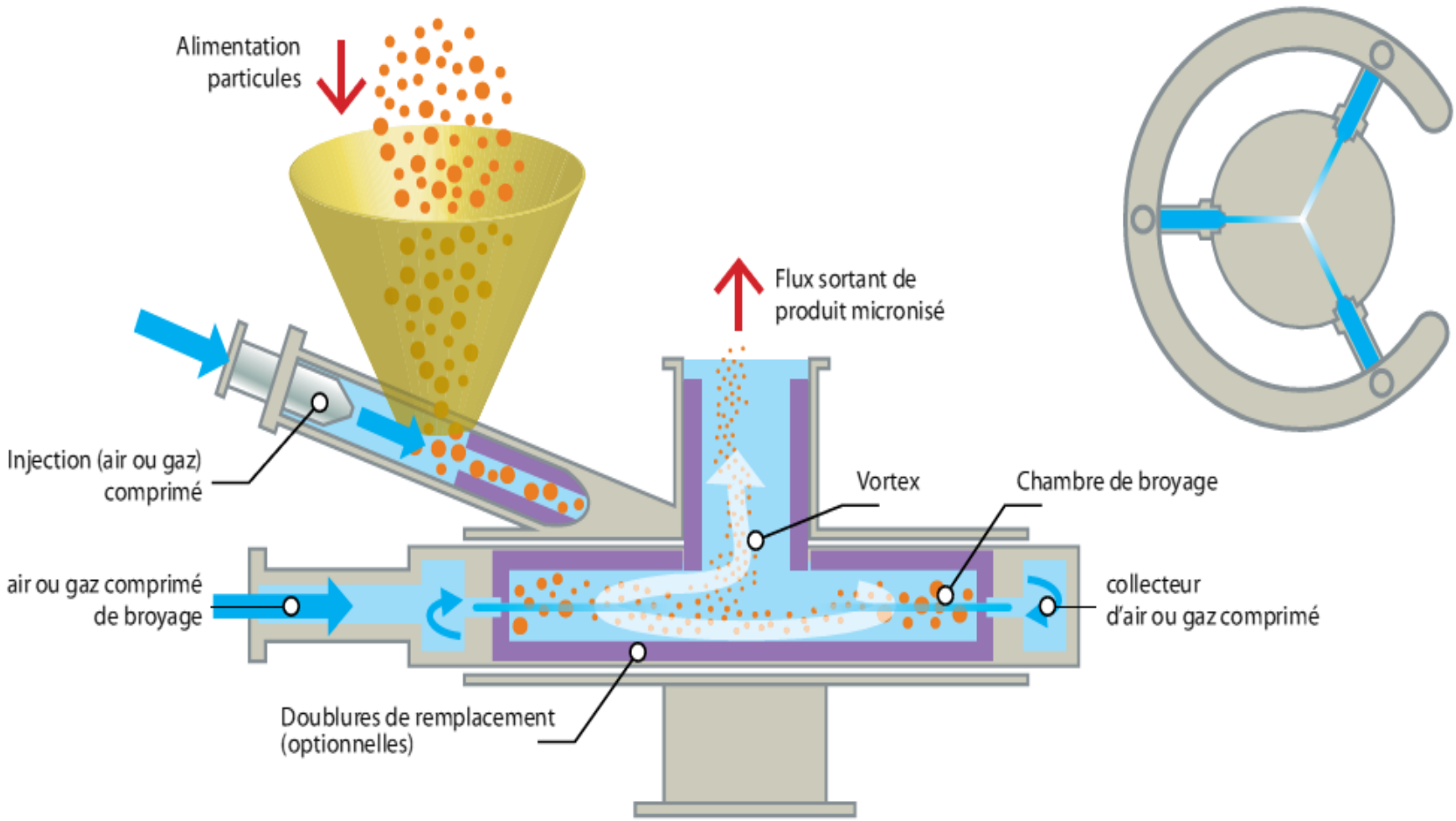


Figure 13 : Principe du moulin à jet (air/vapeur).

Ultra fin

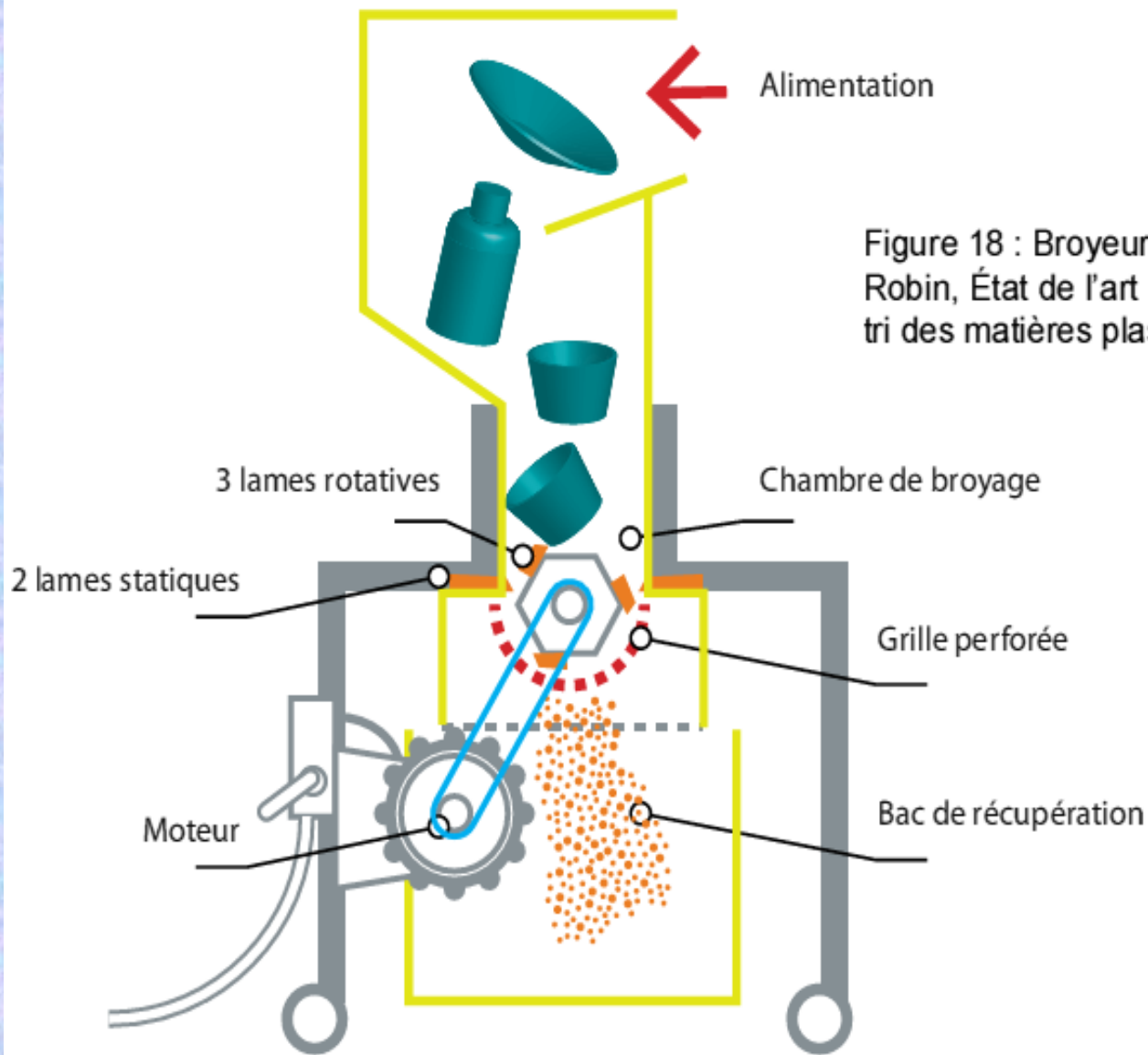


Figure 18 : Broyeur à couteaux Source : J.-J. Robin, État de l'art concernant les méthodes de tri des matières plastiques.

Recyclage



Recyclage

Lois énergétiques de la fragmentation

Si on tente de relier l'énergie de broyage à l'énergie des surfaces nouvellement créées, le bilan montre que **0,1 % à 2 %** de l'énergie va réellement à la création de nouvelles surfaces

- a- \emptyset de 1m \rightarrow \rightarrow 100 mm ; 0.25 < énergie < 1kWh/t.
- b- \emptyset de 100mm \rightarrow 10 mm ; 0.5 < énergie < 2 kWh/t.
- c- \emptyset de 10mm \rightarrow 1mm ; 1 < énergie < 5 kWh/t.
- d- \emptyset de 1mm \rightarrow 0.1 mm ; 5 < énergie < 30 kWh/t.
- e- \emptyset de 0.1mm \rightarrow 10 μ m ; 20 < énergie < 100 kWh/t.
- f- \emptyset de 10 μ m \rightarrow 1 μ m ; 100 < énergie < 1000 kWh/t.

g- $\emptyset < 1\mu$ m. \rightarrow énergie 1000kWh/t.

Les trois formules de base , obtenues a des périodes différentes, dérivent toutes de la loi de **Charles (1957)**, établie, postérieurement et qui a proposé l'équation différentielle générale suivante :

E : l'énergie consommé
d : réduction de dimension
K : constante
P= 1 loi de Kick
P= 2 loi de Rittinger
P= 3/2 loi de Bond

$$\frac{dE}{dd} = - \frac{k}{d^p}$$

La loi de Rittinger (1867)

La loi de Rittinger qui prévoit:

une relation linéaire entre l'énergie de broyage

$$E = k_r (S_2 - S_1)$$

les nouvelles surfaces créées.

S_1 : surface spécifique initiale,

S_2 : surface spécifique finale,

k_r : constante de rittinger qui dépend de la nature de matériau et de broyeur.

L'énergie spécifique introduite est proportionnelle à la quantité des nouvelles surfaces produites:

$$E = k_r \left(\frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right)$$

avec E: énergie par unité de masse,
d1: diamètre initial des particules,
d2: diamètre final des particules,

Question:

quelle est la relation entre les deux équations
L'énergie est spécifique donc

$$E = k_r (S_2 - S_1)$$

$$E = k_r \left(\frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right)$$

** Si le rapport de réduction $R = d_1/d_2$

$$E_1/E_2 = R_1/R_2$$

La loi de Kick (1885)

La théorie de Rittinger ne tient pas compte des déformations des matériaux qui précèdent la fracture, une deuxième théorie a donc été développée par Kick.

Cette théorie stipule que:

l'énergie nécessaire pour produire le même degré de déformation de deux corps géométriquement semblables est proportionnelle au rapport de leur volume respectif.

Avec :

K_K : constante de Kick.

$$E = k_k \ln \left(\frac{d_1}{d_2} \right)$$

$$E' = \frac{E}{V} = k_k \ln \left(\frac{d_1}{d_2} \right) = k_k \ln R$$

Loi d Bond (1952)

elle été établie à partir de données expérimentales. Le travail nécessaire pour faire broyage un matériau est:

$$E = E_i \left[\sqrt{\frac{100}{d_2}} - \sqrt{\frac{100}{d_1}} \right] = 10 E_i \left[\sqrt{\frac{1}{d_2}} - \sqrt{\frac{1}{d_1}} \right]$$

d_1 et d_2 des dimensions des particules en (μm)

Exemple: d_{80} la maille auquel passe 80% en masse de matériau , et E_i :énergie nécessaire à la réduction de l'unité de masse de la matière(dimension théorique infinie) à celle de $100\mu\text{m}$ selon un trou duquel passent 80% des particules

Criblage et Tamisage

La séparation des solides recouvre deux opérations possibles:

séparation de solides ***selon leur nature physico-chimique***

séparation de solides selon **leur granulométrie**

Dans chaque cas, on peut opérer par

voie directe



Magnétique (fer, magnétite, nickel, etc séparés par électro-aimant)

Électrique (bombardement d'électrons par une électrode pour séparer les corps conducteurs et non conducteurs (diélectriques))

Criblage ou tamisage (passage au travers de grilles, passoirs, toiles)

TAMISAGE





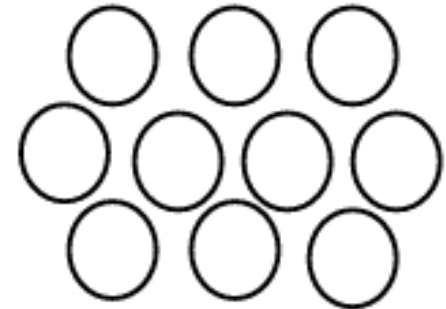
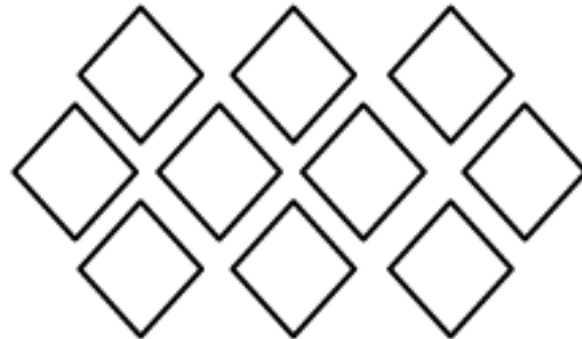
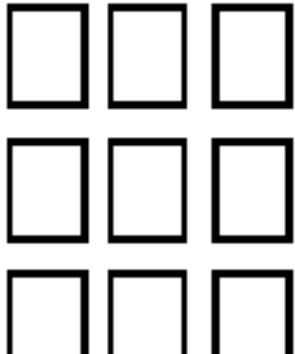
pour l'analyse de céréales
selon ISO 5223



exécution spéciale – détection
entièrement automatique du tamis
- pour ALPINE® e200 LS

- Toles perforées dont le diamètre des trous de **0.5 à 100mm** (**passoire**)

- Toile métallique tissée dont la longueur des cotés du carré varie de **0.04 à 5 mm** (**tamis**)



Surfaces tamisantes: a –trous carrés; b- trous carrés en diagonale; c -trous ronds



U.S.A. STANDARD TEST SIEVE
ASTM E-11 SPECIFICATION



No. 10

WIRE MESH SIZE MESH SIZE
2.00 mm 0.0767

W.S. TYLER™
Made in the U.S.A.

W.S. TYLER
120510557

Bien que cette méthode soit l'une des plus anciennes et aussi l'une des plus largement utilisée, elle permet de séparer les particules en catégorie d'après leur taille sans tenir compte de ces propriétés (nature du matériau). L'opération consiste à placer un échantillon de poudre sur un tamis à des ouvertures de taille déterminée.

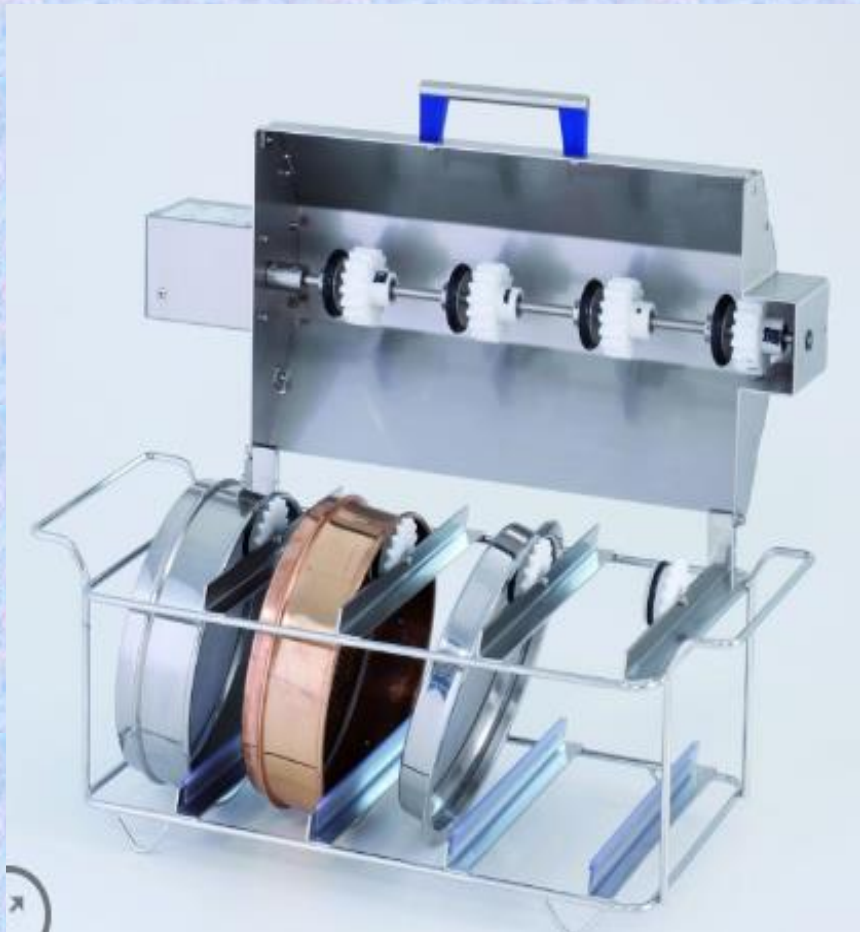
Ou

$$d_{eq} = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2} ; \quad \phi_2 < d_{eq} < \phi_1$$

ϕ_1, ϕ_2 ouvertures des tamis successifs.

➤ Toutes les opérations de tamisage sont influencées par les facteurs suivants:

- 1- Forme des ouvertures;**
- 2- Chargement des tamis;**
- 3- Méthode et vitesse d'agitation ou de vibration;**
- 4- Durée de l'opération;**
- 5- Forme des particules.**



Les termes suivants sont généralement utilisés dans le classement par tamisage :

Le tout-venant (feed): est le produit qui alimente l'appareil à faire la séparation

Le refus (oversize) : représente la fraction qui reste sur le tamis

Le passant (tamisât) : la fraction qui passe au travers du tamis

$$= \frac{\varnothing 1 + \varnothing 2}{2}$$

Présentation des résultats d'une analyse granulométrique

Diamètre moyen

Tableau 7.1. Présentation des résultats d'une analyse granulométrique.

Diamètre ouverture (mm)	Diamètre moyen (mm)	Pourcentage de refus (%)	Pourcentage refus cumulé (%)	Diamètre ouverture (mm)	Diamètre moyen (mm)	Pourcentage de refus (%)	Pourcentage refus cumulé (%)
5,0	> 5	0	0	0,8	0,9	10,6	72,4
4,0	4,5	1,6	1,6	0,63	0,71	8,6	81,0
3,15	3,57	2,9	4,5	0,5	0,56	7,0	88,0
2,5	2,82	6,0	10,5	0,4	0,45	5,1	93,1
2,0	2,25	9,1	19,6	0,315	0,36	2,8	95,9
1,6	1,8	12,3	31,9	0,25	0,28	2,0	97,9
1,25	1,42	15,9	47,8	0,2	0,22	1,1	99,0
1,0	1,12	14,0	61,8	< 0,2	< 0,2	1,0	100,0

La représentation graphique

```
graph TD; A[La représentation graphique] --- B[← →]; B --- C[L\'analyse différentielle «diagramme de répartition»]; B --- D[L\'analyse cumulative « diagramme des pourcentages cumulés passés ou refusés »];
```


L\'analyse **différentielle**
«diagramme de répartition»

L\'analyse **cumulative**
« diagramme des pourcentages cumulés passés ou refusés »



L'analyse différentielle «diagramme de répartition»

Consiste à exprimer, en pourcentage, la masse des retenues au niveau des divers tamis et correspondant aux dimensions moyennes.



L'analyse cumulative « diagramme des pourcentages cumulés passés ou refusés »

C'est-à-dire le rapport des masses des particules soit refusées, soit passées à travers chaque tamis par rapport à la masse totale.

$$d_m = \frac{\sum m_i \cdot d_i}{\sum m_i}$$

Avec :

d_i : \emptyset moyen pour la classe i .

m_i : Poids des particules de la classe i .

d_m : \emptyset moyen de l'échantillon.

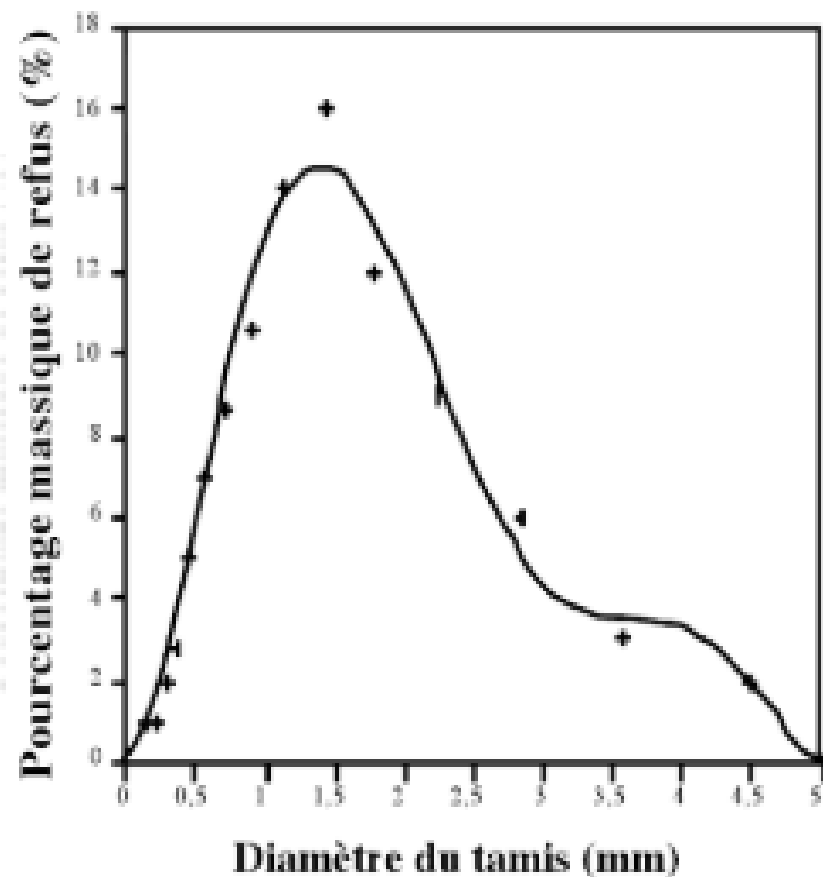
$$d_n = \frac{\sum n_i \cdot d_i}{\sum n_i}$$

Avec:

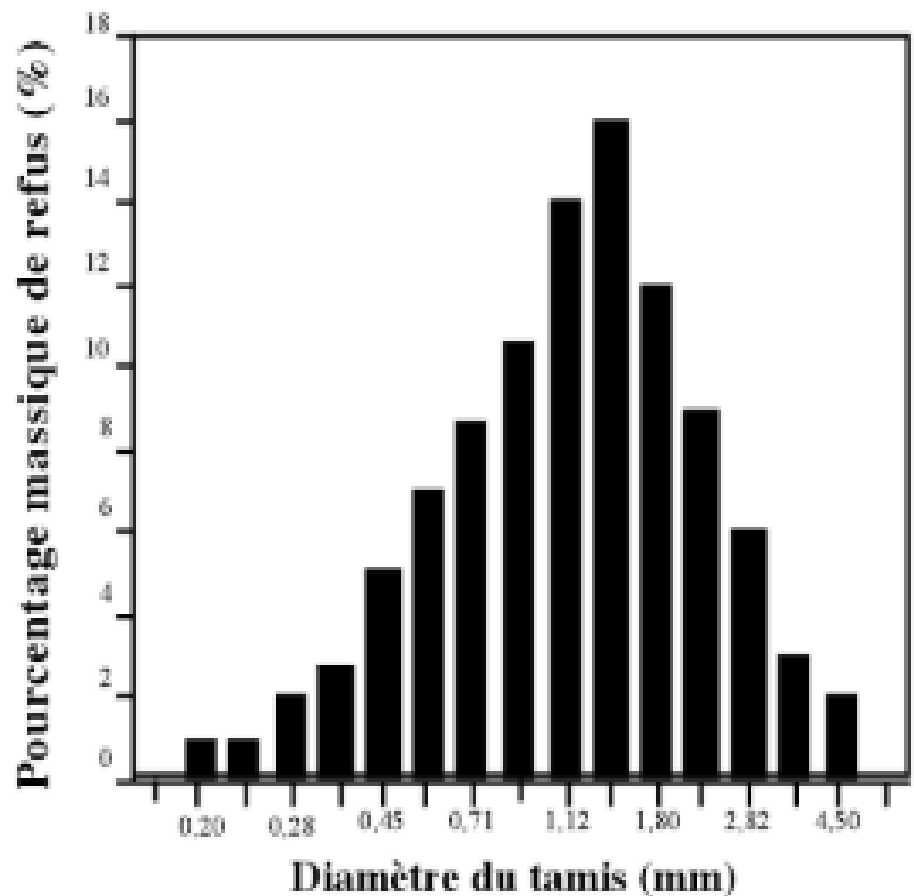
n_i : nombre des particules.

d_n : \emptyset moyen de l'échantillon.

La dimension moyenne des particules est la moyenne arithmétique entre les dimensions des orifices qui ont laissé passer les particules et ceux qui les ont retenues.



(A)



(B)

Figure 7.10. Représentation graphique d'une analyse granulométrique.

(A) Diagramme de répartition en fonction du diamètre moyen ; (B) Histogramme de fréquence.

L'efficacité de tamisage ou rendement de passage

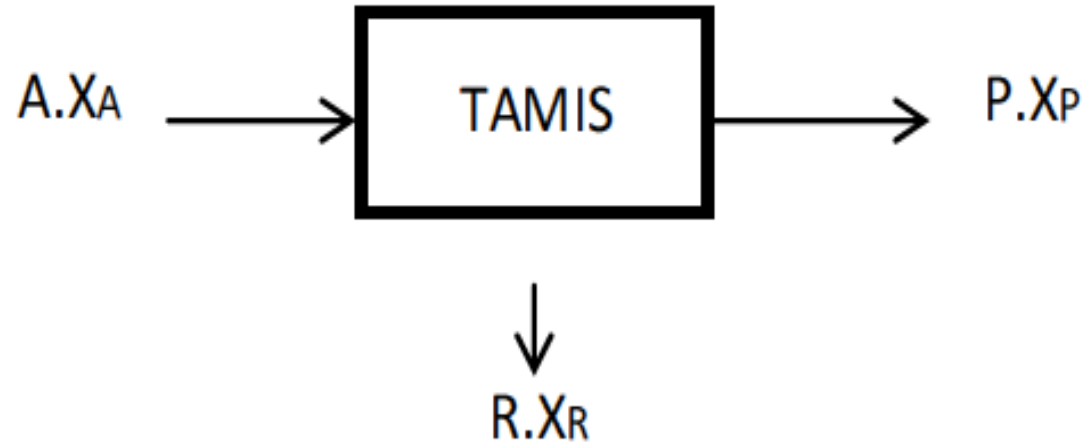
L'efficacité d'un tamisage industriel est la mesure de succès du tamis à séparer le matériau, **donc** on peut définir l'efficacité comme étant le produit de deux **fractions** celle du matériau désiré obtenu avec celle du **matériau non désiré** obtenue et éliminé.

$$E_T = X_{m\text{do}} \cdot X_{m\text{ndo}}$$



Exercise

Soit l'exemple suivant:



X_A : fraction massique du matériau désiré obtenu dans l'alimentation A;

X_P : fraction massique du matériau désiré obtenu dans le produit P;

X_R : fraction massique du matériau désiré obtenu dans le rejet R.

Si $E_T = X_{mdo} \cdot X_{mndo}$

Prouver la relation suivante

$$E_T = \frac{(X_A - X_R)X_P(X_P - X_A)(1 - X_R)}{(X_P - X_R)^2 X_A(1 - X_A)}$$

On procède au tamisage à sec de 3 500 g de sable préalablement séché. On utilise une colonne de 7 tamis dont l'ouverture intérieure des mailles est, respectivement de haut en bas:

12.5 / 5 / 2 / 1 / 0.5 / 0.2 et 0.1 mm

Les refus recueillis sur chacun des tamis sont les suivants:

0 / 217 g / 868 g / 1 095 g / 809 g / 444 g / 39 g

Construire la courbe granulométrique, déterminer d_{10} , d_{60}

Références

**1/ cours de Mme Dr. Aidi A. univ
Biskra**

**2/livre de Henri Fauduet ,
«Mécanique des fluides et des
solides appliquée à la chimie»**

3/ les autres ref. dans le chapitre 2