



## INTRODUCTION

Les tailles des particules sédimentaires sont extrêmement diverses, depuis les fines poussières transportées par les vents de haute altitude (sirocco par exemple) jusqu'aux gigantesques blocs erratiques charriés par les glaciers.

On appelle granulométrie d'un sédiment ou d'un ensemble particulière, la distribution des grains par taille. **La granulométrie** a pour objet de mesurer les dimensions et les variations des **tailles des grains** d'un produit sédimentaire, d'une formation géologique et de connaître la fréquence statistique des différentes classes granulométriques constituant cette formation.

Bien que de formes très diverses, lors des mesures, les particules soumises à l'analyse granulométrique sont assimilées à des sphères de volume équivalent. Ceci conduit à des résultats fréquemment approximatifs; c'est le cas des sables bioclastiques souvent curviformes passés à travers des tamis à mailles carrées et des feuillets d'argiles étudiés par sédimentation en référence à des grains sphériques.

On définit **une classe granulométrique** comme la population (exprimée par une certaine grandeur: nombre de grains ou leur poids) dont les éléments ont une distribution comprise entre **2 limites dimensionnelles** appelées limites de classe.

Le but recherché est une expression quantitative de la répartition par taille des grains, pour essayer entre autres:

- de reconstituer la dynamique des apports des sédiments;

- de déduire les vitesses limites de transport et sédimentation dans les fluides qui ont véhiculé les grains ;
- de mettre en évidence le caractère monogénique ou polygénique de l'alimentation d'un bassin sédimentaire ;
- d'établir des corrélations stratigraphiques

On classe habituellement les sédiments suivant la taille des grains qui les constitue. La terminologie la plus courante est la suivante (A, CAILLEUX, 1954):

**Les rudites:** blocs, galets, graviers - diamètre  $D > 2\text{mm}$ .

**Les arénites:** sables -  $2\text{mm} > D > 0,063\text{mm}$  ou  $0,040\text{mm}$  ( $63\mu\text{m}$  ou  $40\mu\text{m}$ )

Sables très grossiers :  $2\text{mm} > D > 0,5\text{mm}$ .

Sables grossiers :  $0,5\text{mm} > D > 0,25\text{mm}$ .

Sables moyens :  $0,25\text{mm} > D > 0,125\text{mm}$ .

Sables fins (sablon) :  $0,125\text{mm} > D > 0,063\text{mm}$  ou  $0,04\text{mm}$ .

**Les lutites:** -  $D < 0,063\text{mm}$  ou  $0,040\text{mm}$ .

Silts (limons):  $0,040\text{mm}$  ou  $0,063\text{mm} > D > 0,002\text{mm}$ .

Argiles(\*) :  $D < 0,002\text{mm} = 2\mu\text{m}$

(\*) Il est bien certain que l'emploi du terme « argile » pour désigner les particules  $< 2\mu\text{m}$  n'est pas sans susciter de justes réserves. Un risque de confusion existe en effet entre « argiles » au sens granulométrique du mot et les argiles au sens minéralogique du terme. Si la définition des premières est exclusivement granulométrique, les secondes au contraire, sont des silicates d'alumine hydratés, se présentant sous forme de petits cristaux; ainsi, les argiles minéralogiquement parlant, sont des argiles granulométriques ; mais la réciproque est fautive ; de petits grains de quartz de  $1\mu\text{m}$  n'étant pas des argiles. Comme le sens le plus usuel d'argile est minéralogique, il conviendrait sans doute d'utiliser un autre mot en granulométrie. Certains auteurs comme BOURCART emploient le terme de précolloïdes mais cette classe  $< 2\mu\text{m}$ , comprend des colloïdes ; aussi CAILLEUX propose-t-il précolloïdes et colloïdes avec les limites supérieures respectives suivantes :  $2\mu\text{m}$  et  $0,2\mu\text{m}$ .

## LA GRANULOMETRIE DES SABLES ET GRAVIERS

Ces matériaux sont composés de grains libres entre eux, non cohésifs. Pour effectuer des analyses granulométriques il convient de prélever, puis de préparer les échantillons. L'analyse proprement dite peut ensuite être effectuée par triage et comptage mais la technique de mesure la plus couramment utilisée est le tamisage à sec. Nous examinerons successivement ces différentes opérations.

### Le prélèvement de l'échantillon.

Le prélèvement des sables ou des graviers à analyser sera fait avec soin dans un secteur où il ne pourra pas y avoir eu de triage actuel ou accidentel. On évitera donc les coupes de sols ou de carrières peu fraîches, lavées par la pluie. S'il s'en trouve de telles, on procédera selon la règle des pédologues en nettoyant la coupe de haut en bas, puis en prélevant les échantillons successifs de bas en haut. Chaque échantillon sera prélevé en un seul point, et dans le même ensemble, dans une strate par exemple. Il conviendra tout particulièrement selon la recommandation de BERTHOIS d'éviter d'obtenir un échantillon moyen résultant du mélange de

plusieurs prélèvements L'échantillonnage en mer ou d'une manière générale autre que l'échantillonnage direct s'effectue à l'aide de moyens de prélèvement (benne preneuse, box core, carottiers etc...) et nécessite de plus grandes précautions. Ainsi, il convient d'éviter le lessivage à l'ouverture de la benne pour la récupération du sédiment en récoltant l'eau emprisonnée dans la benne (pour le box core il faut procéder de la même manière que la règle des pédologues ci-dessus mentionnée car à l'ouverture de la paroi latérale il y a souvent fluage des sédiments superficiels notamment dans les sédiments vaseux).

### **La quantité à analyser**

Au sujet de la quantité à mettre en œuvre pour une analyse granulométrique, il y a une divergence entre les auteurs. BIETLOT, reprenant les travaux de WENWORTH, de KNIGHT et de POSCHARISKY, constate la divergence entre les différents auteurs et en particulier que POSCHARISKY et KNIGHT préconisent des poids beaucoup plus faibles que WENWORTH pour les petits calibres et des poids nettement supérieurs pour les forts calibres.

Cette divergence a conduit BERTHOIS à reprendre expérimentalement l'étude de la question. Les résultats obtenus ont amené l'auteur à considérer comme inutiles les poids prohibitifs recommandés par POSCHARISKY pour les graviers. BERTHOIS démontre, par exemple, que dans un sédiment où les plus grossiers atteignent 12mm, le poids de l'échantillon à tamiser n'est que d'environ 0,5 kg ; il est conseillé donc de prélever des échantillons de 1,5 à 2 kg lorsque les grains les plus gros ont de 20 à 25mm. de plus grande dimension.

L'échantillon est pesé (poids total = **PT**), puis un tamisage est effectué avec un tamis de 2mm. Soit **PG** le poids de ces graviers, il reste une fraction de grains inférieurs à 2mm, fraction sableuse dont le poids sera **PS = PT - PG**.

Si PS n'excède pas le poids de 200 grammes, on tamisera toute la fraction sableuse. Si PS excède 200 grammes on divisera la fraction sableuse afin de ne pas surcharger certains tamis qui risqueraient d'être «encombrés» par une couche sableuse et par conséquent, d'obtenir un tamisage défectueux. Pour les échantillons exclusivement sableux, tous les auteurs sont d'accord pour conseiller un poids de sable compris entre 100 et 125 g avec lequel les risques d'erreurs sont réduits au minimum.

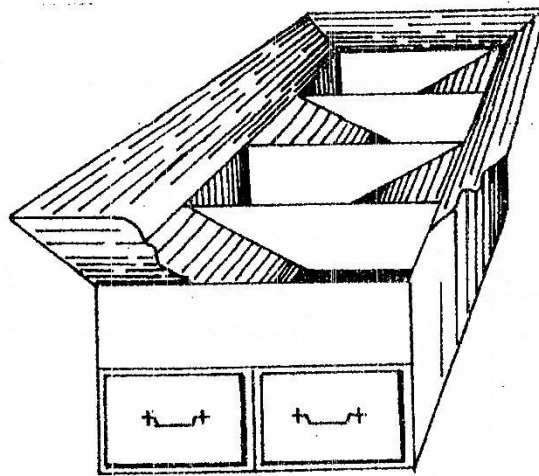
### **La préparation de l'échantillon: désagrégation et division.**

Les échantillons seront désagrégés délicatement au mortier pour ne pas briser les grains. Les sables salés (marins) seront lavés plusieurs fois à l'eau douce (de préférence de l'eau déminéralisée) puis séchés à l'étuve.

Il est souvent nécessaire de diviser l'échantillon sableux, soit comme on l'a vu plus haut, pour n'obtenir que 100 grammes environ de sable dans un échantillon hétérogène de 1 ou 2 kg, soit

pour conserver des parties de l'échantillon comme témoin, soit pour d'autres analyses. Plusieurs méthodes sont utilisées:

- **Division d'un tas conique** : on fait un tas de forme conique de la totalité de l'échantillon; on divise ce tas en quatre secteurs, puis on prélève les deux secteurs opposés. On recommence cette opération sur le prélèvement précédent jusqu'à obtenir un poids convenable.
- **Division par cases rectangulaires**: on étale à plat d'une façon uniforme le sable sur un carton rectangulaire divisé en 8 cases. On prélève le sable de toutes les cases paires.
- **Division par séparateur mécanique** : les séparateurs mécaniques sont nombreux. On peut citer l'appareil de JONES, le modèle rotatif de C. K. WENTWORTH, le séparateur de L. BERTHOIS.



Séparateur mécanique -

Le dessin a été simplifié pour en augmenter la clarté ;  
il existe au moins 6 cases et souvent 8.

### Les tamis et passoires.

Les tamis et passoires se composent d'une monture métallique (laiton, aluminium), et s'emboîtent les uns dans les autres afin de constituer des colonnes. Les montures des passoires sont garnies de tôles perforées tandis que celles des tamis le sont par des toiles.



Série de tamis en laiton de la norme AFNOR et tamiseuse

Les tôles perforées usuelles ont des trous ronds. Ces passoires sont, en général, utilisées en granulométrie pour des sédiments meubles dont le diamètre des grains est supérieur à 3 millimètres.

- Les toiles métalliques usuelles qui garnissent les tamis ont des diamètres d'ouverture (mailles de tamis) dont la succession est basée sur une progression géométrique logarithmique dont il existe plusieurs normes toutes d'ailleurs extrêmement voisines (AFNOR, DIN, UNI, GOST, TYLER, ASTM. etc. ...). La norme la plus utilisée est la norme AFNOR qui comporte une série de tamis dont les ouvertures sont basées sur la maille de 1 millimètre en progression géométrique logarithmique avec une raison  $\sqrt[10]{10} = 1,259$  d'où les mailles des tamis. (Tableau en annexe).

### **Techniques de mesures granulométriques :**

Il est évidemment difficile de mesurer directement grain par grain les différents éléments d'un sédiment; afin d'éviter ce travail fastidieux, on utilise des techniques de mesure globales basées sur l'hypothèse d'une répartition statistique de tailles des grains.

Pour des raisons mécaniques les techniques de mesure diffèrent selon la gamme de tailles des éléments et leur présentation.

### **Granulométrie des sables et des galets**

On fait passer le sédiment à travers une série de tamis dont les ouvertures (ou mailles) diminuent de haut en bas ; cette série est mise à vibrer un certain temps sur une tamiseuse. Chaque tamis retient une quantité de sédiment appelé **refus de tamis**.

Le refus de tamis constitue une classe granulométrique définie par sa limite inférieure qui est la maille du tamis lui-même et sa limite supérieure qui correspond à la maille du tamis immédiatement supérieur.

**N B:** Le tamisage à sec, concerne uniquement la fraction sableuse > à 40 µm. On procède donc au préalable, à l'élimination de la fraction lutitique < à 40µm. par tamisage sous l'eau sur un tamis de maille 40µm.



Élimination de la fraction lutitique sous l'eau.

## CALCULS ET REPRÉSENTATIONS GRAPHIQUES

Après tamisage, chaque tamis possède son propre refus. On peut procéder de deux manières différentes qui aboutissent au même résultat.

**Pourcentages des refus simples :** chaque refus est pesé et son poids noté. Prenons par exemple p1 le poids du refus du premier tamis, p2 le poids du refus du second tamis, p3 le poids du refus du troisième tamis et ainsi de suite jusqu'au dernier tamis. Notons les refus r1, r2, r3 etc., et PT le poids total de la quantité de sable tamisé ; le pourcentage de chaque refus est calculé de la manière suivante:

$$\%r1 = p1 \times 100/PT, \%r2 = p2 \times 100/PT, \%r3 = p3 \times 100/PT \text{ etc.}$$

**Pourcentages des refus cumulés :** les poids des refus sont cumulés, c'est à dire qu'au poids p1 du refus r1 on rajoute le poids p2 du refus r2, on obtient un poids P2.

**P2 = p1 + p2**, puis **P3 = p1+p2+p3=P2+p3**, **P4 = p1+p2+p3+p4 = P3+p4** et ainsi de suite. Notons les refus cumulés R1, R2, R3 etc.

Le poids du premier refus R1 est P1 = p1. On calcule les pourcentages cumulés à partir des poids cumulés de la manière suivante:

$$\%R1 = (P1 \times 100) / PT = \%r1$$

$$\%R2 = (P2 \times 100) / PT = \%r1 + \%r2$$

$$\%R3 = (P3 \times 100) / PT = \%r1 + \%r2 + \%r3 \text{ et ainsi de suite...}$$

La distribution des tailles fait l'objet de représentations diverses sur une échelle semi logarithmique, en abscisses la valeur logarithmique des mailles de tamis et en ordonnées arithmétiques le pourcentage des refus.

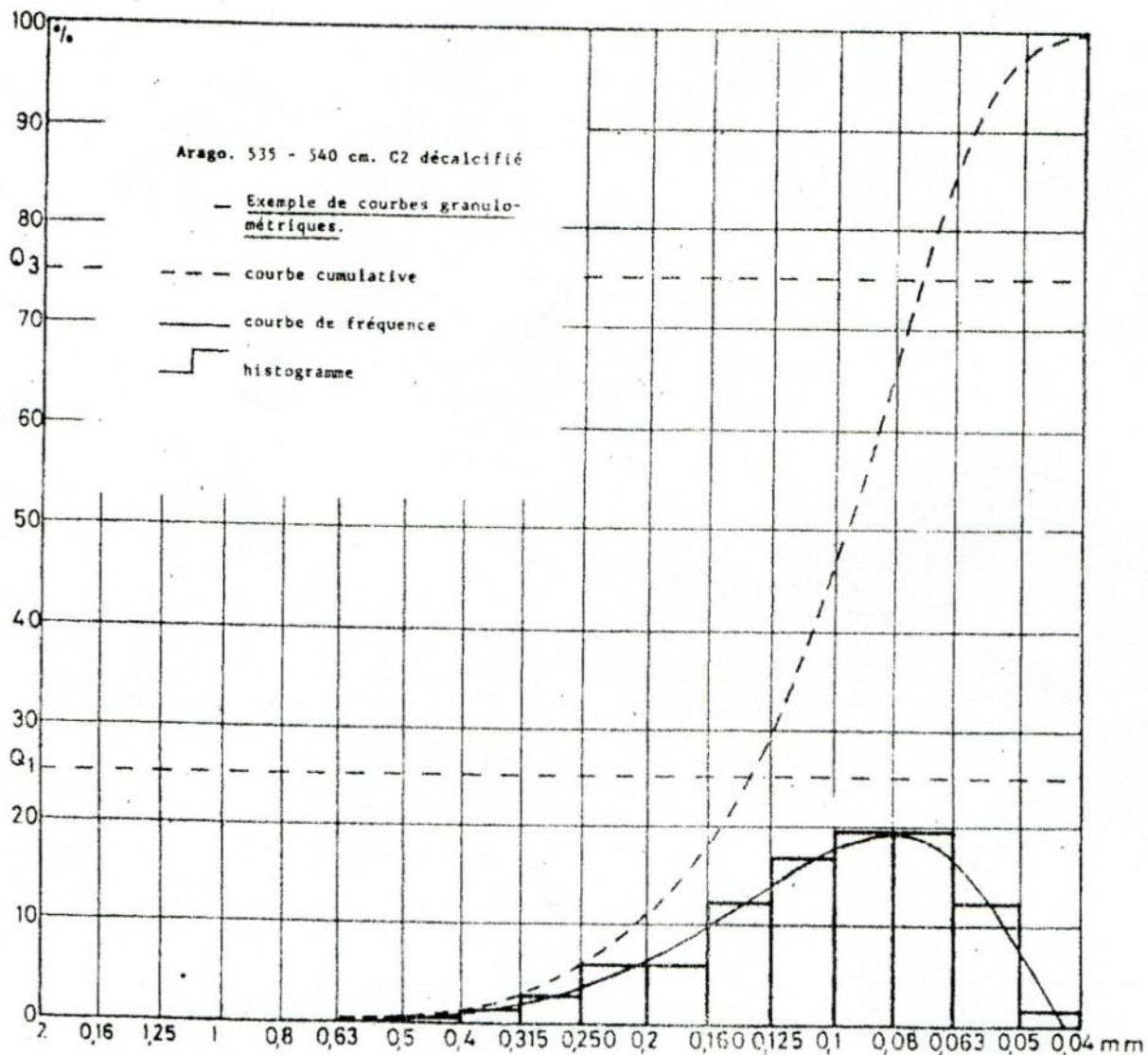
**L'histogramme de fréquence et la courbe de fréquence:** C'est la représentation la plus simple sur laquelle le pourcentage pondéral des particules de chaque classe (%r1, %r2, %r3...) est exprimé par une barre verticale. Le caractère discontinu de l'histogramme peut être supprimé en traçant la courbe de fréquence, qui passe par le centre des barres horizontales et permet de définir le ou les modes. L'Histogramme peut présenter un ou plusieurs maxima:

Un maximum correspond à une distribution unimodale, et la courbe de fréquence effilée indique un bon classement. Si la courbe est dissymétrique, deux cas peuvent se présenter:

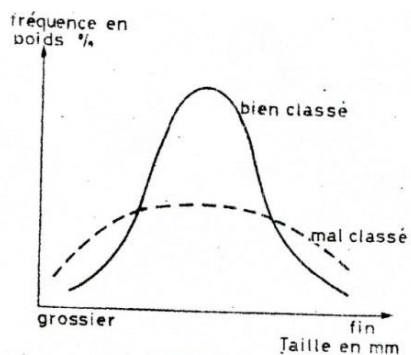
- Asymétrie négative : sables grossiers bien classés.
- Asymétrie positive: sables fins bien classés.

Deux ou plusieurs maxima: correspondant à une distribution bi ou plurimodale et donc à un mauvais classement des sables.

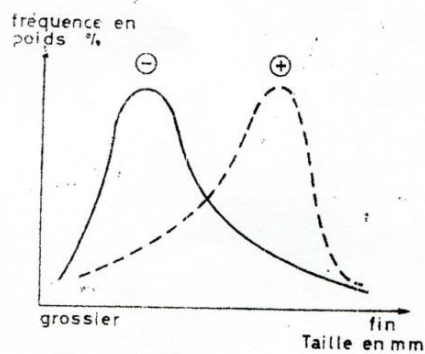
**La courbe cumulative:** Cette représentation est la plus utilisée Elle est issue directement des méthodes granulométriques par décantation (sédimentation) en utilisant les pourcentages cumulés. Elle permet de calculer graphiquement divers paramètres de distribution



Exemple de courbes granulométriques de fraction sableuse : courbe cumulative ; courbe de fréquence ; histogramme.

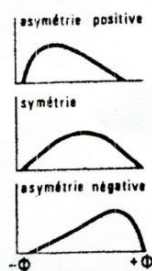
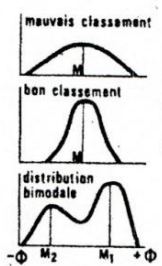


**CLASSEMENT**



**ASYMETRIE (Trask)**

Courbes théoriques des indices de classement et d'asymétrie.



## Paramètres et indices granulométriques

À partir du tracé de la courbe cumulative, il est possible de mesurer la dimension des particules correspondant à un pourcentage de poids donné: ce sont les fractiles. On utilise le plus couramment :

- **Le quartile Q1**: point de la courbe pour lequel 25% du matériel est d'une taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 25%) et 75% d'une taille supérieure.
- **Le quartile Q2 ou médiane Md**: point de la courbe pour lequel 50% du matériel est d'une taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 50%) et 50% d'une taille supérieure
- **Le quartile Q3**: point de la courbe pour lequel 75% du matériel est d'une taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 75%) et 25% d'une taille supérieure.
- **Les déciles P10 & et P90**: correspondent respectivement à 10% et 90%.

À partir des fractiles sont définis les Indices granulométriques. On distingue 3 types de paramètres qui rendent compte respectivement de la position de la courbe granulométrique sur l'échelle des dimensions, sa dispersion et sa forme.

Ces paramètres nous renseignent sur le mode de dépôt de l'échantillon et donc sur l'environnement de dépôt (par exemple une plage, une rivière...).

## Paramètres de position

Il est commode d'utiliser un paramètre central de la distribution pour « chiffrer » le domaine dimensionnel auquel elle appartient. On utilise couramment 3 indices de position :

**La médiane (Md ou Q2)**, taille correspondant à 50% des grains, lue directement sur la courbe cumulative.

**La moyenne (M)**, peut-être calculée de différentes manières ; la formule la plus utilisée est :

$$M = P_{16} + P_{50} + P_{84} / 3$$

(P<sub>16</sub>, P<sub>50</sub> et P<sub>84</sub> respectivement, tailles correspondant à 16%, 50% et 84%)

**Le mode ou classe modale** : c'est l'abscisse du sommet de la courbe de fréquence dans une distribution gaussienne. La classe modale est tirée de l'histogramme de fréquence; elle correspond à la classe la plus représentée. Une répartition naturelle peut admettre une ou plusieurs classes modales plus ou moins bien marquées. On parle de distribution bimodale (2 modes) ou plurimodale (3 modes et plus).

Moyenne et médiane reflètent la distribution granulométrique du sédiment et l'énergie cinétique moyenne lors du dépôt du sédiment.

### Paramètre de dispersion :

Tout en possédant la même médiane, deux répartitions granulométriques peuvent varier largement. Il est donc nécessaire d'évaluer la dispersion des répartitions; c'est un indicateur dynamique Important qui rend compte de l'Intensité du triage des matériaux détritiques. On utilise pour cela l'indice de classement de TRASK (Sorting Index). Cet indice de classement ( $S_0$ ) indique la qualité du classement. Plus  $S_0$  est élevé, plus le classement est mauvais

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$$

$S_0 < 2,5$  sédiment très bien classé ;

$2,5 < S_0 < 3,5$  sédiment normalement classé ;

$3,5 < S_0 < 4,5$  sédiment assez bien classé ;

$4,5 > S_0$  sédiment mal classé

### Paramètre de forme

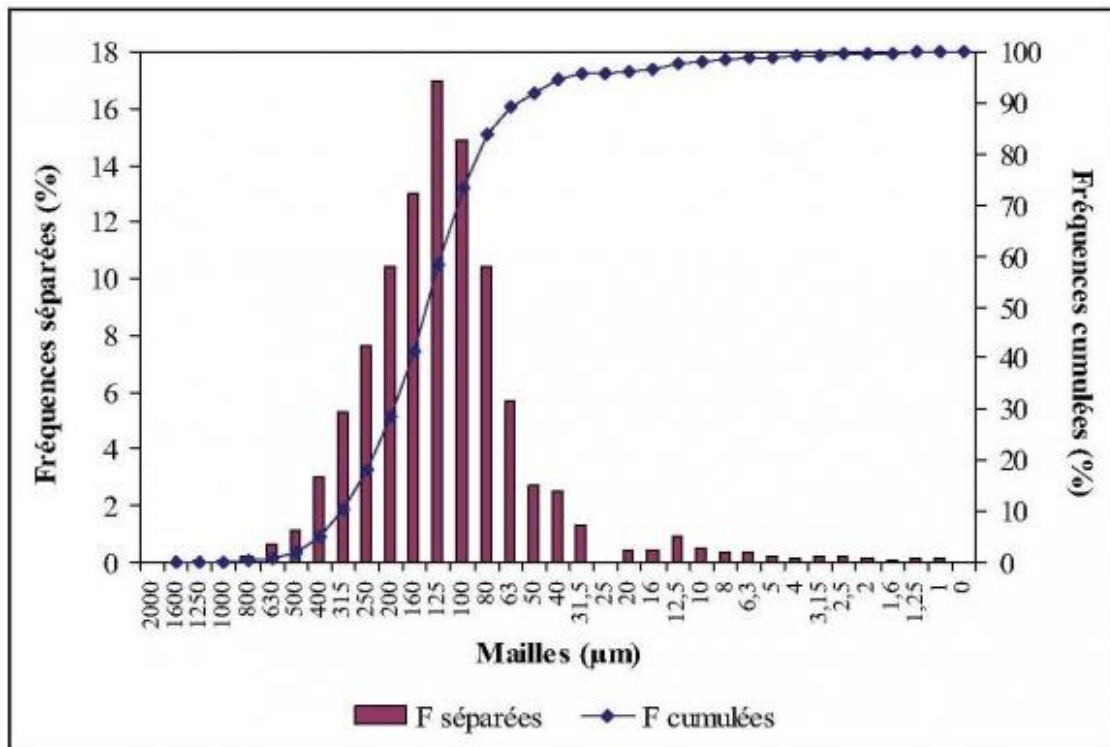
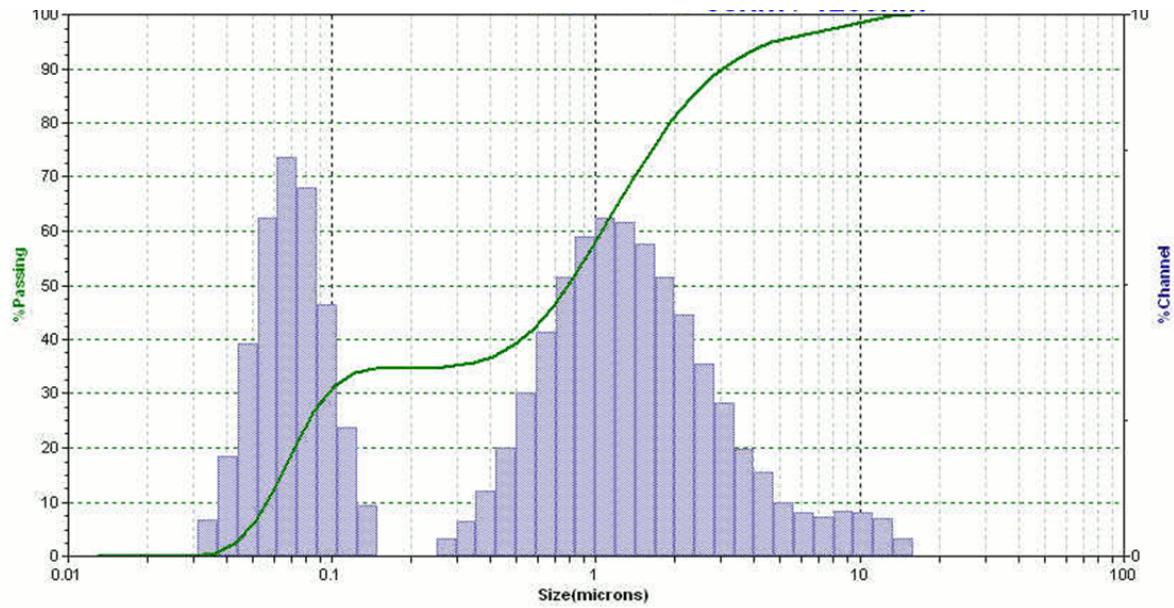
On a cherché à décrire de manière objective l'aspect des représentations graphiques par l'indice d'asymétrie  $S_k$  (SKEWNESS)

Ce paramètre est souvent présenté comme un indicateur de l'environnement de dépôt sédimentaire

$$S_k = \frac{Q_3 - Q_1}{(Q_2 - Q_1)^2}$$

Valeur	Asymétrie	Interprétation
$S_k < 1$	Négative	Courant fort ; le classement meilleur du côté des sables grossiers
$S_k = 1$	Symétrie	Courant régulier ; autant de grossiers que de fins
$S_k > 1$	Positive	Courant faible ; le classement meilleur du côté des sables fins

## Exemples de graphes granulométriques



## Fiche Granulométrique

Maille	M. refus	% Refus	% Cumulés	Obsevations	Indices
( $\mu m$ )					
16000					P10
12500					
10000					Q1
8000					
6300					Q2 = Med
5000					
4000					Q3
3150					
2500					P90
2000					
1600					Indice de classement ou
1250					Indice de Trask
1000					$\sqrt{Q3/Q1} =$
800					
630					Assymétrie (Skewness)
500					$Sk = (Q3*Q1)/Med^2$
400					
315					Modes Granulométriques
250					
200					
160					
125					
100					
80					
63					
50					
40					