

M. CARN

ETUDE COMPARATIVE DE DEUX  
METHODES DE MESURE DES  
DENSITES APPARENTES.

JUIN 1971

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE DAKAR.



## AVANT - P R O P O S

Le Laboratoire de Géologie O. R. S. T. O. M. de Dakar a été doté dans le courant de l'année 1969, d'un voluménomètre à mercure AMSLER utilisé pour les mesures de densités apparentes. Auparavant, ces mesures se faisaient par la méthode Melcher, c'est-à-dire par la mesure des volumes d'échantillons préalablement enrobés de paraffine.

Ce rapport a pour but de dresser une comparaison entre les deux méthodes et d'évaluer les avantages ou les inconvénients apportés par l'emploi du voluménomètre.

## I - VOLUMENOMETRE "AMSLER VM-9"

### 1 - But :

Cette analyse a été réalisée, afin de définir le domaine de précision et la fidélité de la méthode.

### 2 - Matériel utilisé :

- une balance électrique "Mettler type H", à lecture immédiate au 1/10 de milligramme.
- un volumétre "AMSLER VM-9", pour petites éprouvettes (12 cm<sup>3</sup> maximum).

### 3 - Mode opératoire :

Nous avons sélectionné 5 séries de 30 échantillons, correspondant aux 5 unités pétrographiques suivantes :

- Granite de Kéniéba (Sénégal-Oriental)
- Cipolin de Bandafass. (Sénégal-Oriental)
- Gabbro de Kolel (Haute-Volta)
- Amphibolite (Haute-Volta)
- Basanite du Cap-Manuel (Sénégal, Cap-Vert).

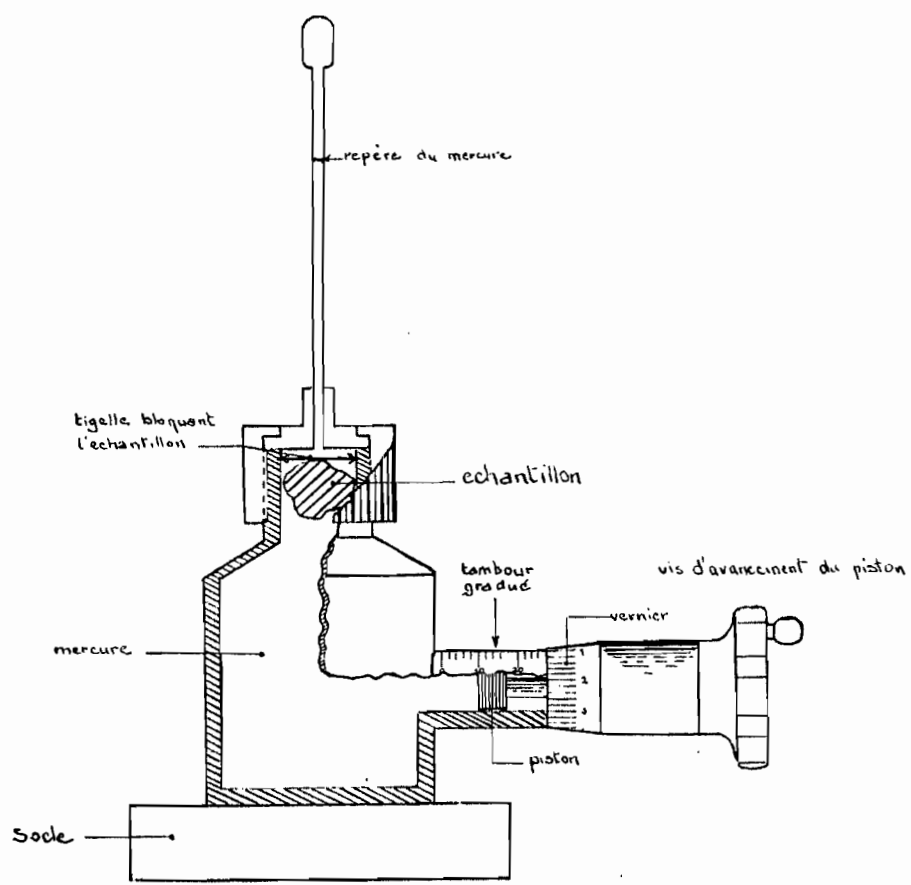
Les mesures de densités ont été effectuées d'après le protocole ci-dessous indiqué :

- Fragmenter chaque roche en 30 échantillons de 5 cm<sup>3</sup> environ.
- Effectuer une première pesée qui servira de vérification (P. hum.)
- Après lavage aussi minutieux que possible, mettre les échantillons à l'étuve à 110° pendant 3 jours.
- Au sortir de l'étuve, déposer le matériel à analyser dans un dessiccateur à froid, pendant 1 heure environ.
- Puis procéder à une nouvelle pesée (P. sec) ; et enfin à la mesure du volume.

Connaissant le poids sec et le volume, on en déduit la densité apparente de chaque échantillon par le simple rapport P/V.

### 4 - Principe de l'appareil (fig. 1 - planche 1)

La mesure des volumes s'effectue en faisant la différence entre la lecture indiquée sur le tambour gradué, lorsque l'appareil est chargé de l'échantillon à analyser (V) et la lecture indiquée lorsqu'il est vide (o).



Echelle ~ 1/2

fig 1 - Schema de principe  
du volumenometre

Comme chaque division du tambour, correspond à un volume unitaire  $0,3 \text{ cm}^3$ , le volume cherché est :

$$(V - 0) \times 0,3.$$

Ce principe de mesure différentielle supprime toute erreur que pourrait entraîner l'action d'une variation thermique quelconque sur le mercure.

### 5 - Méthode de Calcul

Pour chacune des séries de 30 échantillons, nous avons procédé à une étude statistique, sur des classes densimétriques de  $0,01 \text{ g/cm}^3$ .

Cette valeur représente approximativement, 0,3 à 0,5 pour 100 de la densité trouvée, pour les 5 roches étudiées.

Nous avons cherché à déterminer deux catégories d'indices :

- caractéristiques d'ordre de grandeur
  - caractéristiques de dispersion
- (voir tableaux : annexes 1 et 2).

#### a) Caractéristiques d'ordre de grandeur :

a - Moyenne arithmétique :

$$\bar{m} = \frac{\text{Somme } x}{n} = \frac{\text{Somme } x}{30}$$

b - Mode : ( $M_0$ )

Le mode est choisi comme étant le centre de la classe la plus représentée.

c - Médiane : ( $M_e$ )

La médiane est définie à partir des deux valeurs précédemment citées,  $\bar{m}$  et  $M_0$ , selon l'équation :

$$(\bar{m} - M_0) = 3(\bar{m} - M_e)$$

$$M_e = \frac{2\bar{m} - M_0}{2}$$

#### b) Caractéristiques de dispersion :

d - Variance : (V)

$$v = \frac{\sum n (x - M_0)^2}{n} - \left[ \frac{\sum n (x - M_0)}{n} \right]^2$$

e - Ecart-type : ( $\sigma$ )

$$\sigma = \sqrt{v}$$

f - Coefficient de variation :

$$v = \frac{s}{\bar{m}} \times 100 (\%)$$

c) Test de la droite de HENRY :

Cette opération est réalisée, afin de déterminer le plus rapidement possible, suivant quelle loi de distribution se répartissent les mesures effectuées.

Pour ce faire, on calcule t :

$$t = \frac{x_i - \bar{m}}{\sigma}$$

$x_i$  représente ici, le centre d'une classe densimétrique.

Connaissant cette valeur on trace les points répondant à la fonction  $t = f(x_i)$ .

Si ces points se répartissent linéairement, la loi de distribution cherchée est Gaussienne normale.

6 - Etude statistique :

a) Répartition des mesures

Les différents graphes dressés indiquent des séries de mesures bien équilibrées de part et d'autre de la ligne médiane, construite à partir des valeurs moyennes trouvées. Les mesures les plus divergentes, présentent un écart à la moyenne inférieur au 1 %.

On note cependant une légère dérive pour les mesures concernant le granite (fig. 2 - planche 2) ; les dernières densités trouvées augmentent sensiblement. Cette variation correspond vraisemblablement à une prise d'humidité relativement plus importante pour les derniers échantillons analysés.

Les histogrammes de fréquences simples, notamment ceux afférents aux mesures sur granite, amphibolite, et basanite montrent une distribution gaussienne. Par contre les deux autres sont plus irrégulières et présentent une dépression dans les valeurs médianes. Ceci n'est cependant pas significatif et est dû essentiellement au choix de classes densimétriques très fines. En effet si l'on élargit le domaine de ces classes, la forme des courbes se régularise (fig. 3 planche 3).

Pour les cinq cas étudiés, le test de la droite de HENRY s'est révélé positif, démontrant que quel que soit le matériel analysé, on obtient une distribution gaussienne normale, des mesures. Il est d'ailleurs remarquable de constater que les cinq droites obtenues présentent toutes, approximativement, la même pente. Ce parallélisme atteste de manière indéniable de l'excellente reproductibilité de la méthode (fig. 4 - planche 4).

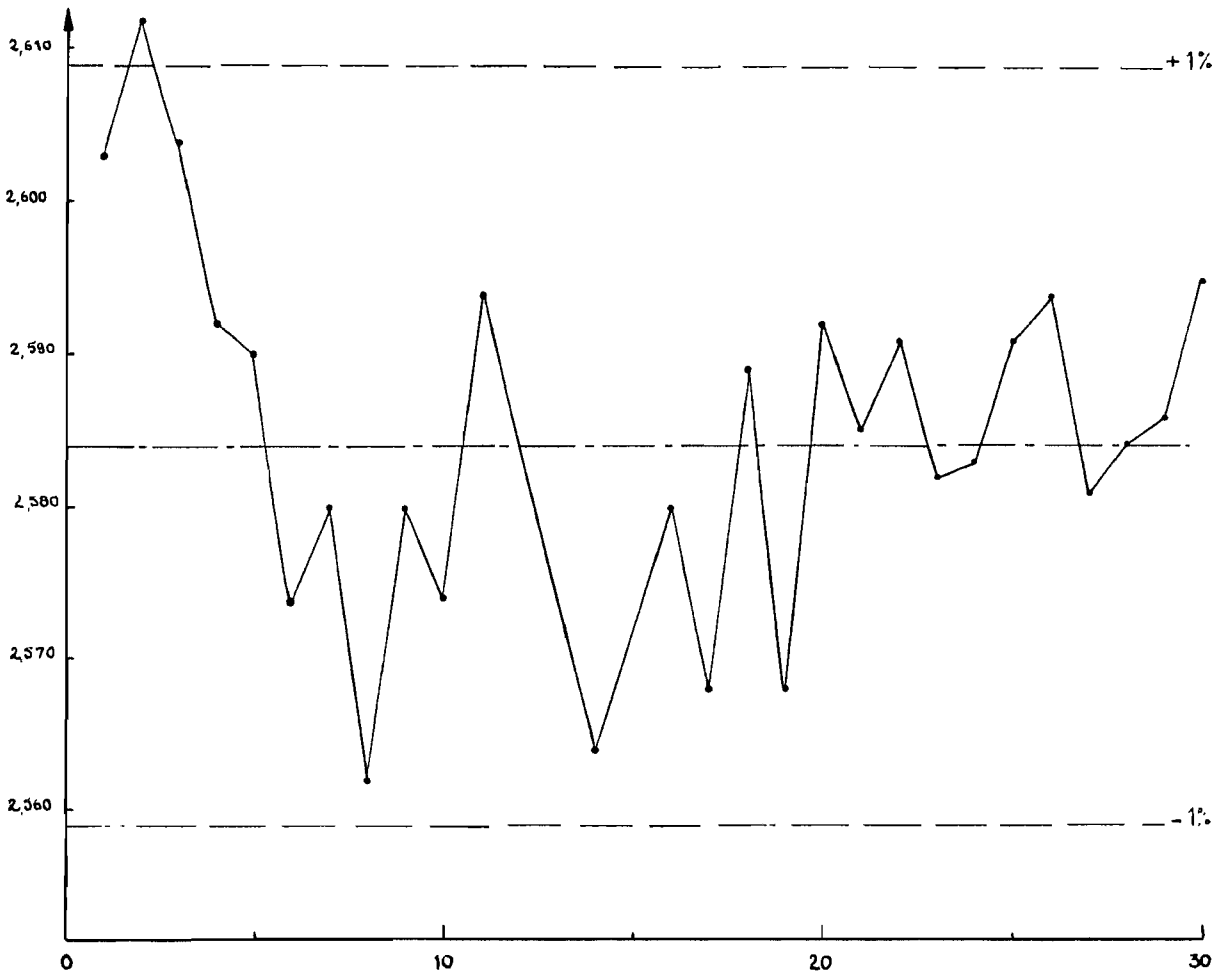


fig - Graphe de repartition des trente  
mesures effectuees sur granite

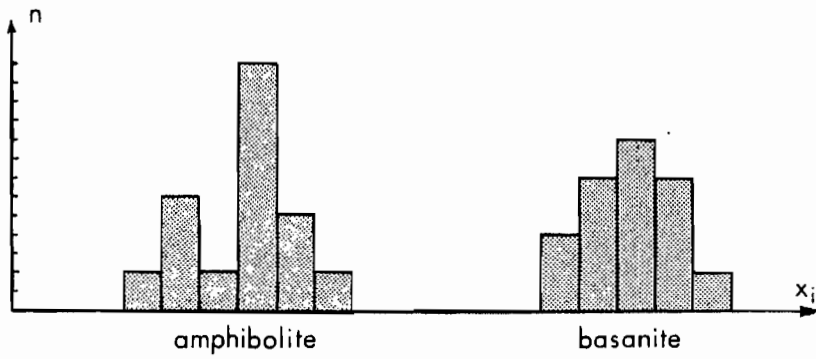
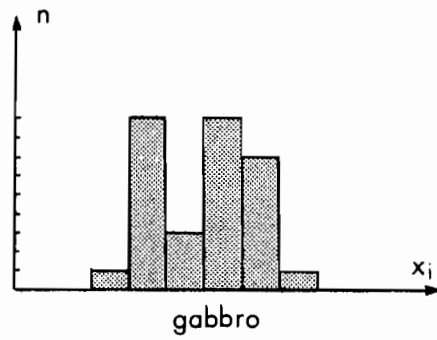
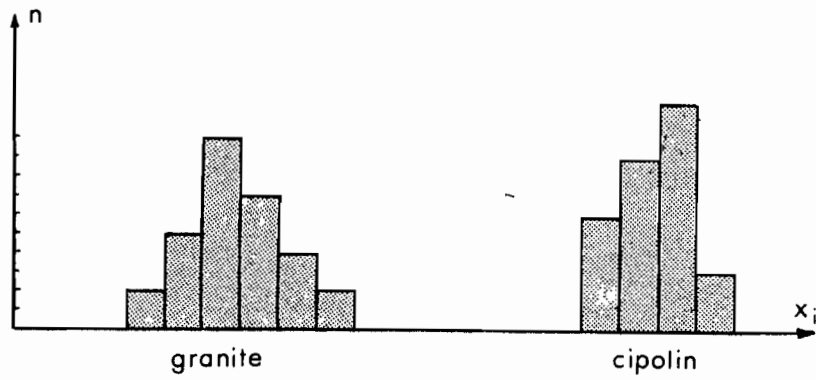


fig 3 - Histogrammes de frequences simples



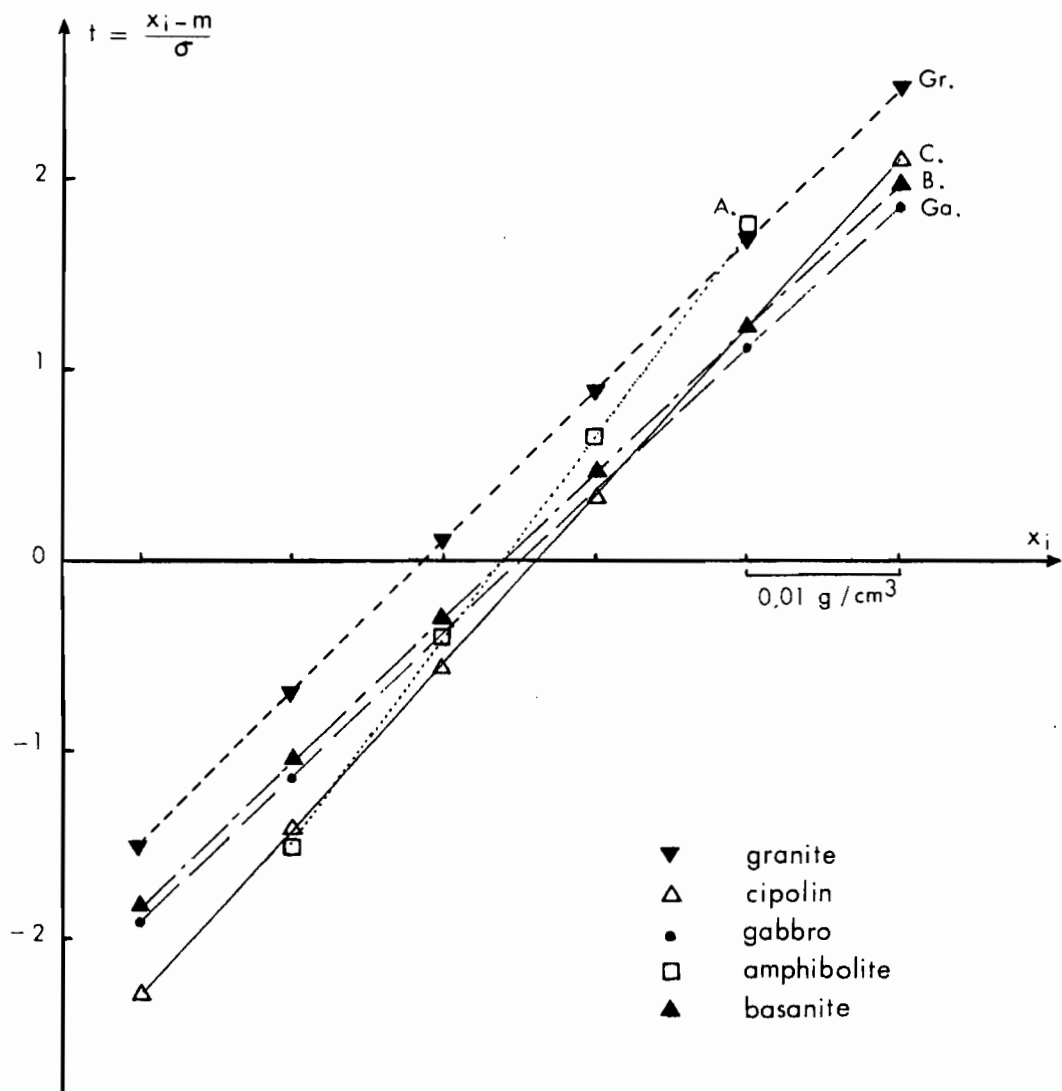


fig 4 - Test des droites de Henry  
(voluménomètre à mercure)

7 - Définition du domaine de précision

| Roches      | Ecart-type | $\bar{m}$ | Coefficient de variation |
|-------------|------------|-----------|--------------------------|
| Granite     | 0,0125     | 2,584     | 0,48 %                   |
| Cipolin     | 0,0133     | 2,781     | 0,47 %                   |
| Gabbro      | 0,0131     | 2,930     | 0,45 %                   |
| Amphibolite | 0,0097     | 2,989     | 0,32 %                   |
| Basanite    | 0,0128     | 3,104     | 0,41 %                   |

- Tableau 6 -

On accepte généralement comme seuil limite du coefficient de variation dans une telle analyse, la valeur  $V \leq 1 \%$ .

Nous constatons donc, au vue de ces résultats, que cette méthode est tout à fait satisfaisante puisque, pour les cinq analyses effectuées, nous obtenons un coefficient V, dans tous les cas inférieur à 0,5 %.

D'autre part la constance de ce coefficient, démontre une excellente reproductibilité.

## II - METHODE DE MELCHER

Méthode décrite par M. Bonifas (Mémoire n° 17, du service géologique d'Alsace et de Lorraine) d'après le manuel de Krumbeln et Petitjohn (1946).

### 1 - Principe :

Le matériau est consolidé et rendu imperméable par revêtement de paraffine. La détermination du volume se fait ensuite par pesée de l'échantillon, ainsi revêtu, dans l'air puis dans l'eau. Les corrections nécessaires dues au revêtement sont ensuite apportées.

### 2 - Matériel nécessaire :

Paraffine-eau distillée - balance de laboratoire adaptée de la façon suivante pour les pesées dans l'eau :

Deux cales plus hautes que la hauteur normale du plateau supportent une tablette qui ne doit en rien gêner les mouvements du plateau. Cette tablette porte un bécber plein d'eau distillée dans lequel trempe l'échantillon et l'isole ainsi du plateau de la balance. L'échantillon est suspendu directement au crochet de la balance par l'intermédiaire d'un fil métallique. Pour les pesées normales dans l'air, on enlève simplement les cales, les tablettes et le bécber.

### 3 - Mode opératoire :

- 1°) Peser l'échantillon sec et débarrassé des grains et poussières adhérents. Soit P ce poids.
- 2°) Saisir l'échantillon au moyen d'une pince à points d'impacts aussi petits que possible. Le tremper dans la paraffine fondue juste au point de fusion. L'immersion doit être extrêmement rapide pour empêcher la paraffine de pénétrer dans les pores. Laisser refroidir. Boucher ainsi les pores restés à nu, les bulles et les points d'impacts de la pince avec une goutte de paraffine ou une pointe métallique chaude. Tremper l'échantillon une deuxième fois dans la paraffine si nécessaire. Laisser refroidir et durcir. Peser l'échantillon pour déterminer le poids de paraffine du revêtement. Soit PpI ce poids total.

$PpI - P =$  poids de paraffine.

$$V_p = \frac{PpI - P}{0,906} = \text{volume de paraffine de densité égale à } 0,906.$$

- 3°) Suspendre l'échantillon à un fil métallique extrêmement fin suffisamment long pour l'accrocher à la balance. Peser dans l'eau en marquant la partie du fil qui trempe dans l'eau. Soit Pp2 ce poids.
- 4°) Peser le fil immergé dans l'eau dans les mêmes conditions que lorsque l'échantillon y était fixé. Soit Pf ce poids.

Le poids de l'eau déplacé par l'échantillon enrobé est :

$$PpI - (Pp2 - Pf)$$

Le volume de l'échantillon est :

$$V = \frac{PpI - (Pp2 - Pf)}{Dt} - Vp$$

Dt étant la densité de l'eau à la température de l'expérience.  
D à 20° = 0,998.

La densité apparente de l'échantillon est :

$$D = \frac{P}{V}$$

#### 4 - Répartition des mesures

La distribution des différentes séries de mesures, s'est révélée assez mal équilibrée, puisque certaines d'entre elles s'écartent de plus de 2 % de la valeur moyenne. Leur répartition obéit cependant à une loi gaussienne ; le test de HENRY le prouve (fig. 5 - planche 5). Si l'on groupe les cinq droites obtenues en effectuant ce test, on obtient, contrairement à la méthode précédente, une faisceau assez divergent ce qui indique que la précision des résultats est davantage fonction de la nature du matériel analysé.

#### 5 - Définition du domaine de précision

##### Résultats :

| Echantillon | Densité | Ecart-type | Coefficient de variation |
|-------------|---------|------------|--------------------------|
| Granite     | 2,484   | 0,0326     | 1,31 %                   |
| Cipolin     | 2,707   | 0,0269     | 0,99 %                   |
| Gabbro      | 2,867   | 0,0495     | 1,72 %                   |
| Amphibolite | 2,926   | 0,0148     | 0,51 %                   |
| Basanite    | 3,028   | 0,0546     | 1,80 %                   |

Il suffit d'observer les variations des différents écarts-types pour se rendre compte que cette méthode est soumise à trop d'aléas de manipulation, l'opération de paraffinage notamment, pour être très précise.

Le coefficient de variation moyen, qui est de 1,26 % est cependant encore acceptable, bien que pour deux séries de mesure il atteint 1,80 %.

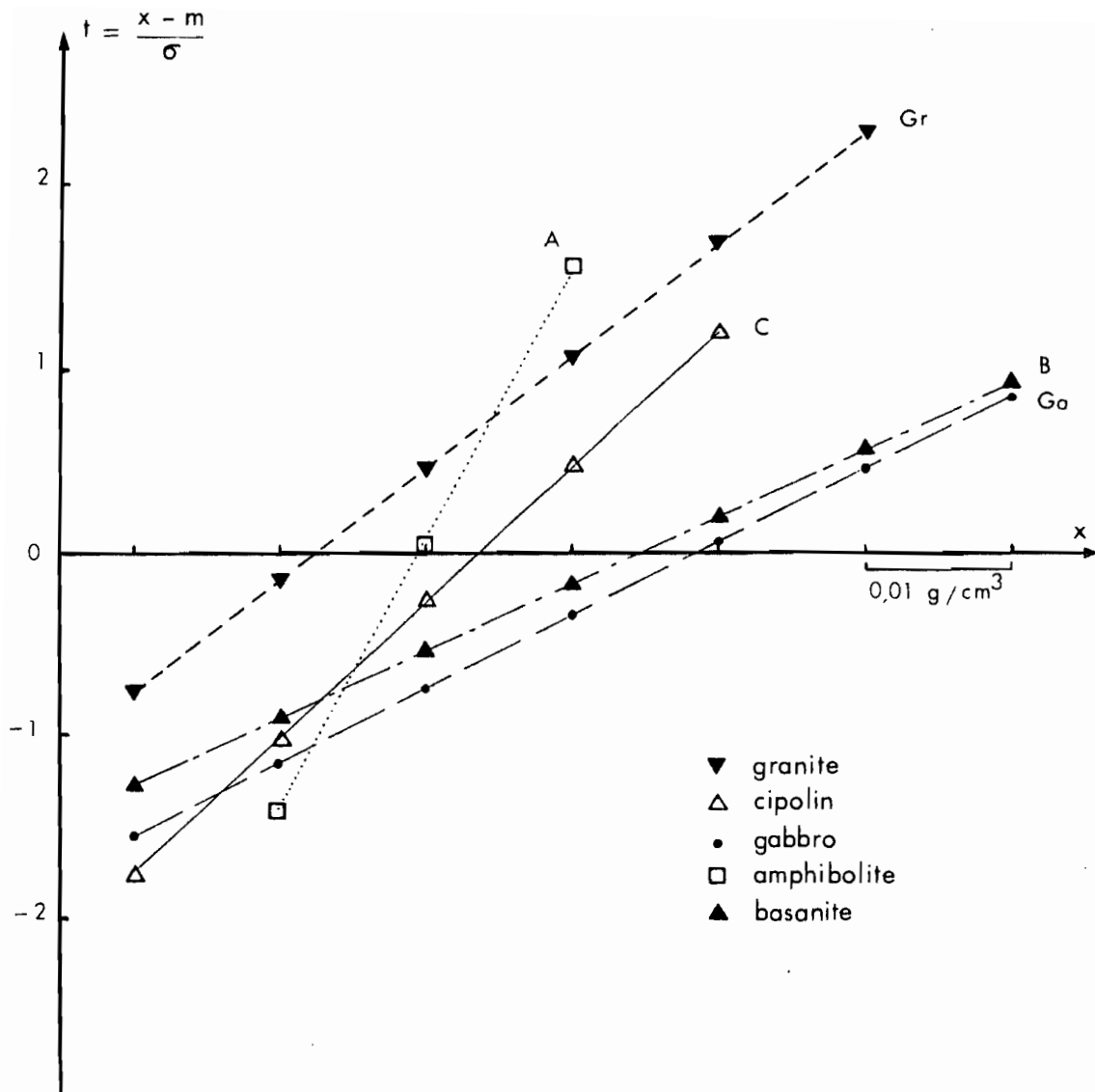


fig 5 - Test des droites de Henry

(methode de Melcher)

III - ETUDE COMPARATIVE

| Echantillon            | Densité moyenne |       | Coefficient de variation |        |
|------------------------|-----------------|-------|--------------------------|--------|
|                        | 1               | 2     | 1                        | 2      |
| Granite                | 2,584           | 2,484 | 0,48 %                   | 1,31 % |
| Cipolin                | 2,781           | 2,707 | 0,47 %                   | 0,99 % |
| Gabbro                 | 2,930           | 2,867 | 0,45 %                   | 1,72 % |
| Amphibolite            | 2,989           | 2,926 | 0,32 %                   | 0,51 % |
| Basanite               | 3,104           | 3,028 | 0,41 %                   | 1,80 % |
| Coefficient moyen..... |                 |       | 0,42 %                   | 1,26 % |

1 : méthode du voluménomètre

2 : méthode de Melcher.

Un coefficient de variation moyen de 0,42 %, c'est-à-dire trois fois moindre que celui donné par la seconde méthode, ajouté à une remarquable constance de la valeur de ce coefficient, définissent le domaine de précision du voluménomètre AMSLER, par rapport aux valeurs obtenues par la méthode de Melcher.

Nous remarquons que systématiquement les valeurs données par la méthode dite de "paraffinage" sont inférieures à celles données par l'autre méthode. A cela il y a deux explications, qui sont d'ailleurs complémentaires ;

- la technique du paraffinage ne saurait être parfaite et inévitablement l'on retient de petites bulles d'air qui augmentent le volume concerné, et, par conséquent diminuent la valeur trouvée pour la densité.
- d'autre part, le mercure sous pression a un pouvoir de "pénétration" supérieur à la paraffine liquéfiée, qui se solidifie trop rapidement pour pouvoir enrober les plus petites infractuosités.

A toutes ces considérations techniques vien s'ajouter le gain de temps considérable obtenu. En effet, on s'est aperçu que l'emploi du voluménomètre a permis de multiplier le rendement des analyses densimétriques par cinq.

## C O N C L U S I O N

Facilité d'emploi, rapidité d'exécution, grande précision des mesures, remarquable constance dans les résultats, et prix de revient pratiquement nul, sont autant d'atouts qui font du volumétre à mercure, un outil indispensable pour la mesure des densités apparentes. Ceci, en égard à la méthode de Melcher, qui est néanmoins encore la plus employée. Le seul avantage reconnu à cette dernière réside dans la simplicité du matériel requis pour effectuer les analyses, puisque seuls une balance de précision et un bécher suffisent.

- Annexe 1 -

Résultats concernant le volumétre

---



Tableau I  
Granite de Kenieba

| N° | P. hum. | P. sec  | V     | O    | V-O   | x3    | densité |
|----|---------|---------|-------|------|-------|-------|---------|
| 1  | 17,6625 | 17,6463 | 27,98 | 5,39 | 22,59 | 67,77 | 2,603   |
| 2  | 11,5213 | 11,5118 | 20,17 | "    | 14,78 | 44,34 | 2,620   |
| 3  | 10,7750 | 10,7651 | 19,17 | "    | 13,78 | 41,34 | 2,604   |
| 4  | 20,5164 | 20,4938 | 31,71 | 5,36 | 26,35 | 79,05 | 2,592   |
| 5  | 17,3848 | 17,3648 | 27,70 | "    | 22,34 | 67,02 | 2,590   |
| 6  | 9,5665  | 9,5555  | 17,73 | "    | 12,37 | 37,11 | 2,574   |
| 7  | 8,3907  | 8,3849  | 16,17 | 5,34 | 10,83 | 32,49 | 2,580   |
| 8  | 7,2343  | 7,2275  | 14,74 | "    | 9,40  | 28,21 | 2,562   |
| 9  | 9,3989  | 9,3908  | 17,47 | "    | 12,13 | 36,39 | 2,580   |
| 10 | 8,3121  | 8,3038  | 16,07 | "    | 10,75 | 32,25 | 2,574   |
| 11 | 8,3330  | 8,3272  | 16,02 | "    | 10,70 | 32,10 | 2,594   |
| 12 | 9,5274  | 9,5187  | 17,59 | 5,32 | 12,27 | 36,81 | 2,585   |
| 13 | 13,3102 | 13,2945 | 22,52 | "    | 17,20 | 51,60 | 2,576   |
| 14 | 7,1140  | 7,1080  | 14,56 | "    | 9,24  | 27,72 | 2,564   |
| 15 | 14,8909 | 14,8745 | 24,59 | "    | 19,27 | 57,81 | 2,572   |
| 16 | 10,7996 | 10,7906 | 19,26 | "    | 13,94 | 41,82 | 2,580   |
| 17 | 14,1497 | 14,1300 | 23,66 | "    | 18,34 | 55,02 | 2,568   |
| 18 | 23,2940 | 23,2720 | 35,28 | "    | 29,96 | 89,88 | 2,589   |
| 19 | 8,5761  | 8,5693  | 16,44 | "    | 11,12 | 33,36 | 2,568   |
| 20 | 11,4185 | 11,4093 | 19,99 | "    | 14,67 | 44,01 | 2,592   |
| 21 | 10,8220 | 10,8133 | 19,26 | "    | 13,94 | 41,82 | 2,585   |
| 22 | 5,4542  | 5,4509  | 12,33 | "    | 7,01  | 21,03 | 2,591   |
| 23 | 7,5334  | 7,5156  | 15,02 | "    | 9,70  | 29,10 | 2,582   |
| 24 | 16,4051 | 16,3867 | 26,46 | "    | 21,14 | 63,42 | 2,583   |
| 25 | 9,1600  | 9,1496  | 17,09 | "    | 11,77 | 35,31 | 2,591   |
| 26 | 9,1693  | 9,1596  | 17,09 | "    | 11,77 | 35,31 | 2,594   |
| 27 | 8,7608  | 8,7524  | 16,62 | "    | 11,30 | 33,90 | 2,581   |
| 28 | 8,8154  | 8,8070  | 16,68 | "    | 11,36 | 34,08 | 2,584   |
| 29 | 5,9359  | 5,9292  | 12,96 | "    | 8,64  | 22,92 | 2,586   |
| 30 | 10,3649 | 10,3546 | 18,62 | "    | 13,30 | 39,90 | 2,595   |

Tableau 2  
Cipolin de Bandafassi

| N° | P. hum. | P. sec. | V     | O    | V-O   | x3    | densité |
|----|---------|---------|-------|------|-------|-------|---------|
| 1  | 16,2720 | 16,2696 | 24,82 | 5,24 | 19,40 | 58,20 | 2,795   |
| 2  | 15,9520 | 15,9493 | 24,39 | "    | 19,15 | 57,45 | 2,776   |
| 3  | 18,1917 | 18 1887 | 27,04 | "    | 21,80 | 65,40 | 2,781   |
| 4  | 12,5879 | 12,5857 | 20,48 | "    | 15,25 | 45,15 | 2,751   |
| 5  | 16,4404 | 16,4363 | 24,87 | 5,23 | 19,64 | 58,92 | 2,789   |
| 6  | 13,3302 | 13,3286 | 21,10 | "    | 15,87 | 47,61 | 2,799   |
| 7  | 16,6316 | 16,6286 | 25,25 | 5,21 | 20,04 | 60,12 | 2,765   |
| 8  | 20,4629 | 20,4578 | 29,68 | "    | 24,47 | 73,41 | 2,786   |
| 9  | 14,4338 | 14,4311 | 22,49 | "    | 17,28 | 51,84 | 2,784   |
| 10 | 12,3192 | 12,3174 | 19,82 | "    | 14,61 | 43,83 | 2,810   |
| 11 | 17,7351 | 17,7310 | 26,42 | "    | 21,21 | 63,63 | 2,786   |
| 12 | 13,6949 | 13,6919 | 21,61 | "    | 16,40 | 49,20 | 2,783   |
| 13 | 20,1865 | 20,1828 | 29,40 | "    | 24,19 | 72,57 | 2,781   |
| 14 | 21,9734 | 21,9697 | 31,46 | "    | 26,25 | 78,75 | 2,789   |
| 15 | 17,3500 | 17,3468 | 26,09 | "    | 20,88 | 62,64 | 2,769   |
| 16 | 19,5700 | 19,5646 | 28,78 | "    | 23,58 | 70,74 | 2,765   |
| 17 | 20,2619 | 20,2561 | 29,30 | "    | 24,10 | 72,30 | 2,802   |
| 18 | 13,5482 | 13,5438 | 21,50 | "    | 16,30 | 48,90 | 2,769   |
| 19 | 16,4432 | 16,4375 | 24,88 | 5,18 | 19,70 | 59,10 | 2,781   |
| 20 | 21,8720 | 21,8666 | 31,36 | "    | 26,18 | 78,54 | 2,784   |
| 21 | 13,2353 | 13,2316 | 20,93 | "    | 15,75 | 47,25 | 2,800   |
| 22 | 13,8300 | 13,8266 | 21,91 | "    | 16,73 | 50,19 | 2,755   |
| 23 | 15,6079 | 15,6038 | 24,02 | "    | 18,84 | 56,52 | 2,761   |
| 24 | 20,9155 | 20,9102 | 30,20 | "    | 25,02 | 75,06 | 2,785   |
| 25 | 11,7601 | 11,7578 | 19,34 | "    | 14,16 | 42,48 | 2,767   |
| 26 | 23,1863 | 23,1817 | 32,82 | "    | 27,64 | 82,92 | 2,795   |
| 27 | 23,1785 | 23,1732 | 32,95 | "    | 27,77 | 83,31 | 2,782   |
| 28 | 19,3114 | 19,3061 | 28,35 | "    | 23,17 | 69,51 | 2,777   |
| 29 | 15,2097 | 15,2063 | 23,35 | "    | 18,15 | 54,45 | 2,793   |
| 30 | 14,6908 | 14,6894 | 22,79 | "    | 17,61 | 52,83 | 2,781   |

Tableau 3  
Gabbro de Kolel

| N° | P. hum. | P. sec  | V     | O    | V-O   | x3    | densité |
|----|---------|---------|-------|------|-------|-------|---------|
| 1  | 12,1997 | 12,1817 | 19,28 | 5,48 | 13,80 | 41,41 | 2,941   |
| 2  | 7,7462  | 7,7335  | 14,31 | "    | 8,83  | 26,49 | 2,919   |
| 3  | 7,4520  | 7,4387  | 13,94 | "    | 8,46  | 25,38 | 2,931   |
| 4  | 6,2540  | 6 2426  | 12,61 | "    | 7,13  | 21,39 | 2,918   |
| 5  | 10,1924 | 10,1764 | 17,01 | "    | 11,53 | 34,59 | 2,942   |
| 6  | 13 2956 | 13,2731 | 20,48 | "    | 15,00 | 45,00 | 2,949   |
| 7  | 9,6386  | 9,6229  | 16,41 | "    | 10,93 | 32,79 | 2,934   |
| 8  | 9,8015  | 9,7874  | 16,56 | "    | 11,08 | 33,24 | 2,944   |
| 9  | 10,1689 | 10 1582 | 17,01 | "    | 11,53 | 34,59 | 2,936   |
| 10 | 9,7212  | 9,7112  | 16,51 | "    | 11,03 | 33,09 | 2,934   |
| 11 | 7,0698  | 7,0665  | 13,55 | "    | 8,07  | 24,21 | 2,918   |
| 12 | 5,3230  | 5,3212  | 11,54 | "    | 6,06  | 18,18 | 2,926   |
| 13 | 7,5044  | 7,5018  | 14,05 | "    | 8,57  | 25,17 | 2,917   |
| 14 | 6,6640  | 6,6595  | 13,08 | "    | 7,60  | 22,80 | 2,920   |
| 15 | 6,4769  | 6,4739  | 12,88 | "    | 7,40  | 22,20 | 2,916   |
| 16 | 17,7616 | 17,7415 | 25,62 | "    | 20,14 | 60,42 | 2,935   |
| 17 | 12,4645 | 12,4500 | 19,64 | "    | 14,16 | 42,48 | 2,930   |
| 18 | 8,6072  | 8,6019  | 15,23 | "    | 9,75  | 29,25 | 2,941   |
| 19 | 8,8758  | 8,8694  | 15,58 | "    | 10,10 | 30,30 | 2,927   |
| 20 | 7,3314  | 7,3257  | 13,86 | 5,48 | 8,38  | 25,14 | 2,914   |
| 21 | 9,8663  | 9,8562  | 16,67 | "    | 11,19 | 33,57 | 2,936   |
| 22 | 9,3077  | 9,3000  | 16,03 | "    | 10,55 | 31,65 | 2,938   |
| 23 | 8,0219  | 8,0188  | 14,67 | "    | 9,19  | 27,57 | 2,908   |
| 24 | 5,9138  | 5,9105  | 12,19 | "    | 6,71  | 20,13 | 2,936   |
| 25 | 10,3267 | 10,3169 | 17,21 | "    | 11,73 | 35,19 | 2,932   |
| 26 | 6,5573  | 6,5561  | 12,97 | "    | 7,49  | 22,47 | 2,917   |
| 27 | 11,6372 | 11,6254 | 18,65 | "    | 13,17 | 39,51 | 2,942   |
| 28 | 7,7919  | 7,7856  | 14,39 | "    | 8,91  | 26,73 | 2,913   |
| 29 | 15,2926 | 15,2772 | 22,77 | 5,48 | 13,17 | 39,51 | 2,945   |
| 30 | 17,2447 | 17,2241 | 24,90 | "    | 19,42 | 58,26 | 2,956   |

Tableau 4  
Amphibolite

| N° | P. hum. | P. sec  | V     | O    | V-O   | x3    | densité |
|----|---------|---------|-------|------|-------|-------|---------|
| 1  | 12,1844 | 12,1810 | 19,10 | 5,52 | 13,58 | 40,74 | 2,990   |
| 2  | 10,7586 | 10,7553 | 17,57 | "    | 12,05 | 36,15 | 2,975   |
| 3  | 13,9462 | 13,9419 | 21,09 | "    | 15,57 | 46,71 | 2,984   |
| 4  | 10,5730 | 10,5695 | 17,36 | "    | 11,84 | 35,52 | 2,975   |
| 5  | 13,0600 | 13,0557 | 20,07 | "    | 14,55 | 43,65 | 2,991   |
| 6  | 11,7891 | 11,7861 | 18,67 | "    | 13,15 | 39,45 | 2,988   |
| 7  | 5,7193  | 5,7177  | 11,88 | "    | 6,36  | 19,08 | 2,997   |
| 8  | 9,6199  | 9,6165  | 16,30 | "    | 10,78 | 32,34 | 2,973   |
| 9  | 15,5508 | 15,5463 | 22,84 | "    | 17,31 | 51,93 | 2,994   |
| 10 | 11,0700 | 11,0665 | 17,83 | "    | 12,31 | 36,93 | 2,997   |
| 11 | 15,3246 | 15,3203 | 22,67 | "    | 17,15 | 51,45 | 2,978   |
| 12 | 13,3421 | 13,3385 | 20,36 | "    | 14,84 | 44,52 | 2,996   |
| 13 | 12,1737 | 12,1700 | 19,03 | "    | 13,51 | 40,53 | 3,003   |
| 14 | 14,8495 | 14,8457 | 22,01 | "    | 16,49 | 49,47 | 3,001   |
| 15 | 10,3325 | 10,3298 | 17,02 | "    | 11,50 | 34,50 | 2,994   |
| 16 | 10,5055 | 10,5034 | 17,25 | 5,52 | 11,73 | 35,19 | 2,985   |
| 17 | 12,5590 | 12,5543 | 19,47 | "    | 13,96 | 41,88 | 2,998   |
| 18 | 10,8117 | 10,8091 | 17,59 | "    | 12,07 | 36,21 | 2,985   |
| 19 | 7,5355  | 7,5335  | 13,88 | "    | 8,36  | 25,08 | 3,004   |
| 20 | 10,8390 | 10,8358 | 17,66 | "    | 12,14 | 36,42 | 2,975   |
| 21 | 21,2179 | 21,2106 | 29,15 | "    | 23,63 | 70,89 | 2,992   |
| 22 | 11,6050 | 11,6022 | 18,41 | "    | 12,89 | 38,67 | 3,000   |
| 23 | 12,1796 | 12,1763 | 19,09 | "    | 13,57 | 40,71 | 2,991   |
| 24 | 14,0480 | 14,0443 | 21,13 | "    | 15,61 | 46,83 | 2,999   |
| 25 | 13,8953 | 13,8914 | 21,02 | "    | 15,50 | 46,50 | 2,987   |
| 26 | 13,6823 | 13,6798 | 20,78 | "    | 15,26 | 45,78 | 2,988   |
| 27 | 7,0663  | 7,0649  | 13,44 | 5,52 | 7,92  | 23,76 | 2,973   |
| 28 | 11,6430 | 11,6402 | 18,47 | "    | 12,95 | 38,85 | 2,996   |
| 29 | 9,5705  | 9,5689  | 16,21 | "    | 10,69 | 32,07 | 2,984   |
| 30 | 11,3255 | 11,3229 | 18,16 | "    | 12,64 | 37,92 | 2,986   |

Tableau 5

## Basanite du Cap-Manuel

| N° | P. hum. | P. sec. | V     | O    | V-O   | x0,3  | densité |
|----|---------|---------|-------|------|-------|-------|---------|
| 1  | 18,1672 | 18,1073 | 24,78 | 5,36 | 19,42 | 58,26 | 3,108   |
| 2  | 16,4008 | 16,3492 | 22,86 | "    | 17,50 | 5,250 | 3,114   |
| 3  | 11,5650 | 11,5267 | 17,67 | "    | 12,33 | 3,699 | 3,126   |
| 4  | 16,9460 | 16,8674 | 23,50 | "    | 18,16 | 5,448 | 3,096   |
| 5  | 20,7081 | 20,6411 | 27,38 | "    | 22,04 | 6,612 | 3,122   |
| 6  | 10,5465 | 10,4977 | 16,61 | "    | 11,27 | 3,388 | 3,105   |
| 7  | 12,3426 | 12,2869 | 18,65 | 5,34 | 1,331 | 3,993 | 3,077   |
| 8  | 30,0720 | 30,0056 | 37,27 | "    | 31,93 | 9,579 | 3,132   |
| 9  | 18,9769 | 18,8918 | 25,71 | "    | 20,37 | 6,111 | 3,091   |
| 10 | 23,3053 | 23,2172 | 30,21 | "    | 24,87 | 7,461 | 3,112   |
| 11 | 19,5812 | 19,5024 | 26,23 | "    | 20,89 | 6,267 | 3,112   |
| 12 | 12,4070 | 12,3652 | 18,56 | "    | 13,22 | 3,966 | 3,118   |
| 13 | 17,9552 | 17,9060 | 24,44 | "    | 19,10 | 5,730 | 3,123   |
| 14 | 23,2800 | 23,1920 | 30,27 | 5,33 | 24,94 | 7,482 | 3,100   |
| 15 | 13,3951 | 13,538  | 19,64 | "    | 14,31 | 4,293 | 3,110   |
| 16 | 11,2421 | 11,2052 | 17,40 | "    | 12,07 | 3,621 | 3,094   |
| 17 | 14,5375 | 14,4848 | 20,88 | "    | 15,55 | 4,665 | 3,105   |
| 18 | 19,6432 | 19,5622 | 26,39 | "    | 21,06 | 6,318 | 3,096   |
| 19 | 13,8191 | 13,7659 | 20,11 | "    | 14,78 | 4,434 | 3,106   |
| 20 | 14,6563 | 14,6030 | 21,04 | "    | 15,71 | 4,713 | 3,098   |
| 21 | 15,8598 | 15,7936 | 22,36 | "    | 17,03 | 5,109 | 3,091   |
| 22 | 20,3144 | 20,2625 | 26,94 | "    | 21,61 | 6,483 | 3,125   |
| 23 | 12,3251 | 12,2817 | 18,50 | "    | 13,17 | 3,951 | 3,108   |
| 24 | 19,2283 | 19,1596 | 25,95 | "    | 20,62 | 6,186 | 3,097   |
| 25 | 12,5447 | 12,4907 | 18,84 | "    | 13,51 | 4,053 | 3,081   |
| 26 | 17,6622 | 17,5928 | 24,30 | "    | 18,97 | 5,691 | 3,091   |
| 27 | 23,4335 | 23,3590 | 30,35 | "    | 25,02 | 7,506 | 3,112   |
| 28 | 15,9933 | 15,9341 | 22,46 | "    | 17,13 | 5,139 | 3,101   |
| 29 | 24,5434 | 24,4510 | 31,60 | "    | 26,27 | 7,881 | 3,102   |
| 30 | 18,0487 | 17,9760 | 24,69 | "    | 19,36 | 5,808 | 3,095   |

Tableau 6

## Basanite du Cap-Manuel

| Centre des classe : $x_i$ | Effectifs $n_i$ | $x_i - M_o$        | $n_i (x_i - M_o)$            | $(x_i - M_o)^2$   | $n_i (x_i - M_o)^2$         | t      |
|---------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------|
| 3,080                     | 2               | $-2 \cdot 10^{-2}$ | $-4 \cdot 10^{-2}$           | $4 \cdot 10^{-4}$ | $8 \cdot 10^{-4}$           | -1,854 |
| 3,090                     | 5               | $-1 \cdot 10^{-2}$ | $-5 \cdot 10^{-2}$           | $1 \cdot 10^{-4}$ | $5 \cdot 10^{-4}$           | -1,082 |
| 3,100                     | 10              | 0                  | 0                            | 0                 | 0                           | -0,309 |
| 3,110                     | 7               | $+1 \cdot 10^{-2}$ | $+7 \cdot 10^{-2}$           | $1 \cdot 10^{-4}$ | $7 \cdot 10^{-4}$           | +0,464 |
| 3,120                     | 4               | $+2 \cdot 10^{-2}$ | $+8 \cdot 10^{-2}$           | $4 \cdot 10^{-4}$ | $16 \cdot 10^{-4}$          | +1,236 |
| 3,130                     | 2               | $+3 \cdot 10^{-2}$ | $+6 \cdot 10^{-2}$           | $9 \cdot 10^{-4}$ | $18 \cdot 10^{-4}$          | +2,009 |
| <u>Total</u> :            | 30              |                    | $T_1$<br>$+12 \cdot 10^{-2}$ |                   | $T_2$<br>$54 \cdot 10^{-4}$ |        |

1) Caractéristiques d'ordre de grandeur :

a-Moyenne arithmétique :

$$\bar{m} = 3,104$$

b-Mode :

$$M_o = 3,100$$

c-Médiane :

$$M_e = 3,102$$

2) Caractéristiques de dispersion :

d-Variance :

$$V = 0,000164$$

e-Ecart-type :

$$\sigma = 0,0128$$

Tableau 7  
Amphibolite

| Centre des classes : $x_i$ | Effectifs $n_i$ | $x_i - M_0$        | $n_i(x_i - M_0)$             | $(x_i - M_0)^2$             | $n_i(x_i - M_0)^2$          | t      |
|----------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------|
| 2,975                      | 6               | $-2 \cdot 10^{-2}$ | $-12 \cdot 10^{-2}$          | $4 \cdot 10^{-4}$           | $24 \cdot 10^{-4}$          | -1,526 |
| 2,985                      | 9               | $-1 \cdot 10^{-2}$ | $-9 \cdot 10^{-2}$           | $1 \cdot 10^{-4}$           | $9 \cdot 10^{-4}$           | -0,436 |
| 2,995                      | 12              | 0                  | 0                            | 0                           | 0                           | +0,654 |
| 3,005                      | 3               | $+1 \cdot 10^{-2}$ | $+3 \cdot 10^{-2}$           | $1 \cdot 10^{-4}$           | $3 \cdot 10^{-4}$           | +1,744 |
| Total :                    | 30              |                    | $T_I$<br>$-18 \cdot 10^{-2}$ | $T_1'$<br>$6 \cdot 10^{-4}$ | $T_2$<br>$36 \cdot 10^{-4}$ |        |

1) Caractéristiques d'ordre de grandeur :

a-Moyenne arithmétique :

$$\bar{m} = 2,989$$

b-Mode :

$$M_0 = 2,995$$

c-Médiane :

$$M_0 = 2,991$$

2) Caractéristiques de dispersion :

d-Variance :

$$V = 0,000024$$

e-Ecart-type :

$$\sigma = 0,0097$$

Tableau 8

Gabbro de Kolol

| Centre des classes : $x_i$ | Effectifs $n_i$ | $x_i - M_o$        | $n_i(x_i - M_o)$             | $(x_i - M_o)^2$   | $n_i(x_i - M_o)^2$          | t      |
|----------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------|
| 2,905                      | 1               | $-3 \cdot 10^{-2}$ | $-3 \cdot 10^{-2}$           | $9 \cdot 10^{-4}$ | $9 \cdot 10^{-4}$           | -1,903 |
| 2,915                      | 9               | $-2 \cdot 10^{-2}$ | $-18 \cdot 10^{-2}$          | $4 \cdot 10^{-4}$ | $36 \cdot 10^{-4}$          | -1,145 |
| 2,925                      | 3               | $-1 \cdot 10^{-2}$ | $-3 \cdot 10^{-2}$           | $1 \cdot 10^{-4}$ | $3 \cdot 10^{-4}$           | -0,382 |
| 2,935                      | 9               | 0                  | 0                            | 0                 | 0                           | +0,382 |
| 2,945                      | 7               | $+1 \cdot 10^{-2}$ | $+7 \cdot 10^{-2}$           | $1 \cdot 10^{-4}$ | $7 \cdot 10^{-4}$           | +1,145 |
| 2,955                      | 1               | $+2 \cdot 10^{-2}$ | $+2 \cdot 10^{-2}$           | $4 \cdot 10^{-4}$ | $4 \cdot 10^{-4}$           | +1,908 |
| <u>Total</u> :             | 30              |                    | $T_1$<br>$-15 \cdot 10^{-2}$ |                   | $T_2$<br>$59 \cdot 10^{-4}$ |        |

1) Caractéristiques d'ordre de grandeur :

a-Moyenne arithmétique :

$$\bar{n} = 2,930$$

b-Mode :

$$n_o = 2,935$$

c-Médiane :

$$M_o = 2,931$$

2) Caractéristiques de dispersion :

d-Variance :

$$V = 0,000172$$

e-Ecart-type :

$$= 0,0131$$



Tableau 9

## Cipolin de Bandafassi

| Centre des classes : $x_i$ | Effectifs $n_i$ | $x_i - M_0$        | $n_i(x_i - M_0)$             | $(x_i - M_0)^2$   | $n_i(x_i - M_0)^2$                       | $\varepsilon$ |
|----------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------------------|---------------|
| 2,755                      | 2               | $-3 \cdot 10^{-2}$ | $-6 \cdot 10^{-2}$           | $9 \cdot 10^{-4}$ | $18 \cdot 10^{-4}$                       | -2,290        |
| 2,765                      | 6               | $-2 \cdot 10^{-2}$ | $-12 \cdot 10^{-2}$          | $4 \cdot 10^{-4}$ | $24 \cdot 10^{-4}$                       | -1,410        |
| 2,775                      | 2               | $-1 \cdot 10^{-2}$ | $-2 \cdot 10^{-2}$           | $1 \cdot 10^{-4}$ | $2 \cdot 10^{-4}$                        | -0,529        |
| 2,785                      | 13              | 0                  | 0                            | 0                 | 0                                        | +0,352        |
| 2,795                      | 5               | $+1 \cdot 10^{-2}$ | $+5 \cdot 10^{-2}$           | $1 \cdot 10^{-4}$ | $5 \cdot 10^{-4}$                        | +1,233        |
| 2,805                      | 2               | $+2 \cdot 10^{-2}$ | $+4 \cdot 10^{-2}$           | $4 \cdot 10^{-4}$ | $8 \cdot 10^{-4}$                        | +2,114        |
| <u>Total :</u>             | 30              |                    | $T_I$<br>$-11 \cdot 10^{-2}$ |                   | $\sum \varepsilon$<br>$57 \cdot 10^{-4}$ |               |

1) Caractéristiques d'ordre de grandeur :

a-Moyenne arithmétique :

$$\bar{m} = 2,781$$

b-Mode :

$$M_0 = 2,785$$

c-Médiane :

$$M_{\frac{0}{2}} = 2,781 = \bar{m}$$

2) Caractéristiques de dispersion :

d-Variance :

$$V = 0,000177$$

e-Ecart-type :

$$= 0,0133$$

Tableau 10

## Granite de Kenieba

| Centre des classes : $x$ | Effectifs $n_i$ | $x - M_0$          | $n(x - M_0)$                | $(x - M_0)^2$     | $n(x - M_0)^2$              | $t$    |
|--------------------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|--------|
| 2,565                    | 4               | $-2 \cdot 10^{-2}$ | $-8 \cdot 10^{-2}$          | $4 \cdot 10^{-4}$ | $16 \cdot 10^{-4}$          | -1,520 |
| 2,575                    | 7               | $-1 \cdot 10^{-2}$ | $-7 \cdot 10^{-2}$          | $1 \cdot 10^{-4}$ | $7 \cdot 10^{-4}$           | -0,720 |
| 2,585                    | 9               | 0                  | 0                           | 0                 | 0                           | +0,089 |
| 2,595                    | 7               | $+1 \cdot 10^{-2}$ | $+7 \cdot 10^{-2}$          | $1 \cdot 10^{-4}$ | $7 \cdot 10^{-4}$           | +0,380 |
| 2,605                    | 2               | $+2 \cdot 10^{-2}$ | $+4 \cdot 10^{-2}$          | $4 \cdot 10^{-4}$ | $8 \cdot 10^{-4}$           | +1,630 |
| 2,610                    | 1               | $+3 \cdot 10^{-2}$ | $+3 \cdot 10^{-2}$          | $9 \cdot 10^{-4}$ | $9 \cdot 10^{-4}$           | +2,480 |
| <u>Total</u> :           | 30              |                    | $T_1$<br>$-1 \cdot 10^{-2}$ |                   | $T_2$<br>$47 \cdot 10^{-4}$ |        |

1) Caractéristiques d'ordre de grandeur :

a-Moyenne arithmétique :

$$\bar{m} = 2,584$$

b-Mode :

$$M_0 = 2,585$$

c-Médiane :

$$M_e = 2,584 = \bar{m}$$

2) Caractéristiques de dispersion :

d- Variance :

$$V = 0,000156$$

e-Ecart-type :

$$s = 0,0125$$

- A n n e x e 2 -

Résultats concernant la méthode  
de Melcher

-=-

Tableau 11  
Granite de Kéniéba

1) Résultats bruts :

| N° | P       | Pp1     | Pp     | Pp2    | V      | densité |
|----|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| 1  | 11,8095 | 13,3665 | 1,5570 | 8,750  | 4,6908 | 2,529   |
| 2  | 16,1858 | 18,3755 | 2,1897 | 11,200 | 6,5565 | 2,475   |
| 3  | 13,2716 | 20,0661 | 1,7945 | 12,600 | 7,2839 | 2,514   |
| 4  | 17,7496 | 20,0337 | 2,2841 | 12,050 | 7,2622 | 2,450   |
| 5  | 13,7821 | 16,0588 | 2,2767 | 9,700  | 5,6422 | 2,450   |

2) Etude statistique :

| N° | m     | (x-m) | (x-m) <sup>2</sup> |
|----|-------|-------|--------------------|
| 1  | 2,529 | 0,045 | 0,002025           |
| 2  | 2,475 | 0,009 | 0,000081           |
| 3  | 2,514 | 0,030 | 0,000900           |
| 4  | 2,450 | 0,034 | 0,001156           |
| 5  | 2,450 | 0,034 | 0,001156           |
|    |       |       | 0,005318           |

- Moyenne arithmétique :

$$m = 2,484$$

- Variance :

$$v = \frac{0,005318}{5} = 0,001064$$

- Ecart-type :

$$\sigma = \sqrt{v} = 0,0326$$

- Coefficient de variation :

$$V = \frac{\sigma}{m} \times 100 = 1,31 \%$$

Tableau 12  
Cipolin de Bandafassi

1) Résultats bruts :

| N° | P       | PpI     | Pp     | Pp2    | V      | densité |
|----|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| 1  | 10,8756 | 11,9266 | 1,0510 | 8,450  | 4,0970 | 2,657   |
| 2  | 9,0924  | 9,9172  | 0,8248 | 7,450  | 3,3366 | 2,725   |
| 3  | 12,2560 | 13,6562 | 1,4002 | 9,360  | 4,5307 | 2,705   |
| 4  | 13,1721 | 14,5472 | 1,3751 | 9,960  | 4,8492 | 2,716   |
| 5  | 14,8491 | 16,1908 | 1,3417 | 11,060 | 5,4301 | 2,734   |

2) Etude statistique :

| N° | m     | (x-m) | (x-m) <sup>2</sup> |
|----|-------|-------|--------------------|
| 1  | 2,657 | 0,050 | 0,002500           |
| 2  | 2,725 | 0,018 | 0,000324           |
| 3  | 2,705 | 0,002 | 0,000004           |
| 4  | 2,716 | 0,009 | 0,000081           |
| 5  | 2,734 | 0,027 | 0,000729           |
|    |       |       | 0,003638           |

- Moyenne arithmétique :

$$\bar{m} = 2,707$$

- Variance :

$$v = \frac{0,003638}{5} = 0,000727$$

- Ecart-type :

$$s = \sqrt{v} = 0,02695$$

- Coefficient de variation :

$$V = \frac{s}{\bar{m}} \times 100 = 0,995 \%$$

Tableau 13

Gabbro de Kolel

## 1) Résultats bruts :

| N° | P      | Pp1    | Pp     | Pp2   | V      | densité |
|----|--------|--------|--------|-------|--------|---------|
| 1  | 8,5650 | 9,9840 | 1,4190 | 7,150 | 3,0780 | 2,782   |
| 2  | 8,5717 | 9,2400 | 0,6683 | 7,350 | 2,9324 | 2,923   |
| 3  | 4,6594 | 5,2500 | 0,5906 | 4,750 | 1,6281 | 2,862   |
| 4  | 8,2842 | 9,2237 | 0,9395 | 7,120 | 2,8467 | 2,910   |
| 5  | 6,1802 | 6,9503 | 0,7701 | 5,720 | 2,1603 | 2,861   |

## 2) Etude statistique :

| N° | m     | (x-m) | (x-m) <sup>2</sup> |
|----|-------|-------|--------------------|
| 1  | 2,782 | 0,085 | 0,007225           |
| 2  | 2,923 | 0,056 | 0,003136           |
| 3  | 2,862 | 0,005 | 0,000025           |
| 4  | 2,910 | 0,043 | 0,001849           |
| 5  | 2,861 | 0,006 | 0,000036           |
|    |       |       | 0,012271           |

1 - Moyenne arithmétique :

$$m = 2,867$$

2 - Variance :

$$v = \frac{0,012271}{5} = 0,002454$$

3 - Ecart-type :

$$c = \sqrt{v} = 0,0495$$

4 - Coefficient de variation :

$$V = \frac{c}{m} \times 100 = 1,72 \%$$

Tableau 14  
Amphibolite

1) Résultats bruts :

| N° | P      | Pp1    | Pp     | Pp2   | V      | Densité |
|----|--------|--------|--------|-------|--------|---------|
| 1  | 6,4404 | 7,2433 | 0,8029 | 5,920 | 2,2233 | 2,905   |
| 2  | 8,1875 | 9,1527 | 0,9652 | 7,060 | 2,8152 | 2,916   |
| 3  | 7,7708 | 8,6316 | 0,8608 | 6,810 | 2,5587 | 2,930   |
| 4  | 7,8312 | 8,3763 | 0,5451 | 6,900 | 2,6612 | 2,949   |
| 5  | 8,2791 | 9,0815 | 0,8024 | 7,150 | 2,8033 | 2,929   |

2) Etude statistique :

| N° | m     | (x-m) | (x-m) <sup>2</sup> |
|----|-------|-------|--------------------|
| 1  | 2,905 | 0,021 | 0,000441           |
| 2  | 2,916 | 0,010 | 0,000100           |
| 3  | 2,930 | 0,004 | 0,000016           |
| 4  | 2,949 | 0,023 | 0,000529           |
| 5  | 2,929 | 0,003 | 0,000009           |
|    |       |       | 0,001095           |

- moyenne arithmétique :

$$m = 2,926$$

- variance :

$$v = \frac{0,001095}{5} = 0,000219$$

- écart-type :

$$s = \sqrt{v} = 0,0148$$

- coefficient de variation :

$$V = \frac{s}{m} \times 100 = 0,506 \%$$

Tableau 15

## Basanite du Cap-Manuel

## 1) Résultats bruts :

| N° | P       | PpI     | Pp     | Pp2    | V      | densité |
|----|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| 1  | 16,8572 | 18,1748 | 1,3176 | 12,980 | 5,5345 | 3,053   |
| 2  | 11,5104 | 12,3607 | 0,8506 | 9,480  | 3,7318 | 3,092   |
| 3  | 10,1224 | 10,8570 | 0,7346 | 8,550  | 3,2844 | 3,089   |
| 4  | 8,3582  | 9,5462  | 1,1880 | 7,200  | 2,8232 | 2,969   |

## 2) Etude statistique :

| N° | m     | (x-m) | (x-m) <sup>2</sup> |
|----|-------|-------|--------------------|
| 1  | 3,053 | 0,025 | 0,000625           |
| 2  | 3,092 | 0,064 | 0,004096           |
| 3  | 3,089 | 0,061 | 0,003721           |
| 4  | 2,969 | 0,059 | 0,003481           |
|    |       |       | 0,011923           |

- moyenne arithmétique :

$$m = 3,028$$

- variance :

$$v = \frac{0,011923}{4} = 0,002980$$

- écart-type :

$$\sigma = \sqrt{v} = 0,0546$$

- coefficient de variation :

$$V = \frac{\sigma}{m} \times 100 = 1,80 \%$$