

<b>Zeitschrift:</b>	Archives des sciences [1948-1980]
<b>Herausgeber:</b>	Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
<b>Band:</b>	24 (1971)
<b>Heft:</b>	2
<b>Artikel:</b>	Détermination quantitative par volumétrie de la calcite et de la dolomite dans les roches
<b>Autor:</b>	Jaquet, J.-M. / Vernet, J.-P. / Ferrari, J.-M.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-739703">https://doi.org/10.5169/seals-739703</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# DÉTERMINATION QUANTITATIVE PAR VOLUMÉTRIE DE LA CALCITE ET DE LA DOLOMITE DANS LES ROCHES

PAR

J.-M. JAQUET, J.-P. VERNET et J.-M. FERRARI<sup>1</sup>

## RÉSUMÉ

Après une revue des principaux appareils de calcimétrie et un rappel des bases théoriques de la volumétrie, une nouvelle table des poids spécifique du CO<sub>2</sub> est présentée, ainsi qu'une table de coefficients permettant le calcul rapide du pourcentage de carbonate dans les roches. Une formule analytique a aussi été établie pour le calcul direct du poids spécifique, sans passer par les tables. Ensuite les divers types d'erreurs sont discutés et une estimation de la précision du calcimètre est proposée. Enfin la marche à suivre pour mesurer le pourcentage de calcite et de dolomite à l'aide de l'appareil décrit est exposée.

## ABSTRACT

The main apparatuses and the theory of gasometric determination of carbonates in rocks are briefly outlined. A new, recalculated table of CO<sub>2</sub> density is presented, together with a table of coefficients for rapid computation of the carbonate content. As an alternative method, a formula has been worked out for direct calculation of the density as a function of temperature and pressure. The various types of errors occurring in gasometric determinations are discussed and the accuracy of the authors' calcimeter is estimated. Finally, the procedure for calcite and dolomite quantitative determination is explained in detail.

## 1. INTRODUCTION

L'analyse calcimétrique a pour but de déterminer la proportion des carbonates contenus dans une roche cohérente ou meuble. Elle permet, sous certaines conditions, de distinguer les différents carbonates les uns des autres. Les méthodes à disposition pour atteindre ce but sont diverses et nombreuses et le choix entre elles doit dépendre du problème à étudier et du lieu de l'examen.

<sup>1</sup> Laboratoire de Sédimentologie, Institut de Géologie et Paléontologie, Université de Genève, rue des Maraîchers 11B, CH-1211 Genève 4.

Ainsi, sur le terrain, les géologues, pédologues et ingénieurs ont fréquemment recours à l'essai à la touche d'acide chlorhydrique dilué où le degré d'effervescence permet d'estimer grossièrement la teneur en carbonate de chaux de la roche.

Au laboratoire, où l'on est limité uniquement par l'appareillage dont on dispose, on utilise, dans une gamme de méthodes diverses, celle qui est la mieux adaptée au but poursuivi. Les deux facteurs qui doivent être pris en considération sont le degré de précision recherché et la durée de la mesure. Un troisième facteur peut être aussi envisagé: l'intégrité de la roche, la plupart des méthodes amenant une destruction partielle de l'échantillon. Dans ce cas, il est nécessaire d'avoir recours à des méthodes de coloration sélective comme celle au chlorure ferrique ou au nitrate d'argent sur une face polie de la roche (FRIEDMAN, 1959). Généralement, ce sont les deux autres facteurs qui sont prépondérants: la précision et la durée de la mesure.

En effet, lorsqu'un géologue, un pédologue ou un ingénieur dose la teneur en carbonates d'une roche ou d'un sol, il doit tenir compte des variations latérales de composition dans la strate ou l'horizon dont provient l'échantillon. Il en résulte que l'emploi d'une méthode très précise donnant, par exemple, une fraction de pour-cent ne se justifie pas. Par contre, si l'on peut doser les teneurs d'un nombre élevé d'échantillons, les valeurs moyennes que l'on obtiendra deviennent très significatives. Ainsi donc, les personnes qui travaillent sur des échantillons naturels recherchent toutes des méthodes rapides, peu onéreuses et donnant une précision satisfaisante de l'ordre de 1 à 5%, suivant les cas.

Compte tenu de ce qui vient d'être dit, on laissera de côté les méthodes par titration qui nécessitent un certain appareillage, sont relativement longues et donnent une précision trop élevée par rapport aux conditions des échantillons naturels. Il reste à disposition les méthodes gravimétriques et volumétriques.

La méthode de la double pesée est une méthode gravimétrique simple: l'échantillon est broyé, séché et pesé; après une attaque à l'acide, il est lavé, séché et pesé; la différence entre les deux pesées donne la teneur en carbonates de la roche.

Les méthodes volumétriques sont diverses quant à leur appareillage mais elles sont toutes basées sur le même principe: la roche est broyée, séchée, pesée, attaquée à l'acide et l'on mesure le volume de dioxyde de carbone qui est dégagé. Leur relative diversité nous conduit à passer en revue les principales d'entre elles avant de décrire notre appareil et les résultats que nous avons obtenus.

## 2. PRINCIPALES TECHNIQUES DE CALCIMÉTRIE PAR VOLUMÉTRIE

Certains des appareils et des méthodes que nous allons décrire permettent de distinguer entre les teneurs relatives des différents carbonates, tel que l'appareil de CHITTIK. D'autres permettent d'éliminer, dans des conditions favorables, l'une ou l'autre des causes d'erreur.

### 2.1. L'APPAREIL DE CHITTIK (DREIMANIS, 1962)

Pour distinguer la calcite  $\text{CaCO}_3$  de la dolomite  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , on utilise la différence de solubilité de ces minéraux dans l'acide chlorhydrique. Partant d'échantillons broyés de même dimension granulométrique, on effectue deux mesures du volume de  $\text{CO}_2$  dégagé. La calcite s'attaquant plus rapidement, la première lecture du volume s'effectue après 15-20 secondes et la deuxième lecture à la fin de l'attaque (15-45 minutes). La teneur en calcite est calculée sur la base du premier volume mesuré alors que celle de la dolomite est donnée par la différence entre les deux volumes.

Pour utiliser cette méthode, il faut que l'échantillon broyé ait passé à travers le tamis de 200 mesh. DREIMANIS estime qu'après 20 secondes, seulement 2-3% de la dolomite a été attaquée et qu'après 15-45 minutes c'est seulement le 5-7% de ce minéral qui n'a pu être détruit.

Nous nous sommes inspirés de l'appareil de CHITTIK pour nos mesures sur des échantillons dolomitiques (voir plus loin).

Dans le même ordre de préoccupation, il faut citer la méthode de WOLFE et BARTLETT (1958) qui, pour déterminer les teneurs en calcite et en dolomite, utilisent deux acides différents. Premièrement, on effectue une attaque à l'acide acétique pour obtenir la teneur en calcite, plus facilement attaquable. Puis, pour la deuxième attaque, on utilise l'acide chlorhydrique.

### 2.2. LE MANOCALCIMÈTRE ENREGISTREUR (Y. CARO *et al.*, 1964)

Une compagnie pétrolière française a développé un manocalcimètre enregistreur; c'est un appareil coûteux qui a l'avantage de laisser un témoin de la mesure. Il enregistre l'augmentation de pression résultant du dégagement à volume constant du  $\text{CO}_2$  lors d'une attaque à l'acide chlorhydrique dilué. Un tel appareil permet aussi de distinguer entre les teneurs en calcite et en dolomite.

### 2.3. LE CALCIMÈTRE DE SCHEIBLER (WIESSMANN, 1951)

Cet appareil est un perfectionnement du calcimètre Bernard classique. Il élimine l'erreur que l'on introduit fatallement en mettant en contact le  $\text{CO}_2$ , produit par l'attaque acide de l'échantillon, avec le liquide du tube manométrique. Pour cela, l'acide chlorhydrique et la roche sont mis en contact dans un récipient et le gaz dégagé vient remplir une balle de caoutchouc placée dans un flacon fermé, relié au tube gradué rempli d'eau. Il reste cependant une erreur due à l'absorption du  $\text{CO}_2$  par la solution chlorhydrique restant après l'attaque.

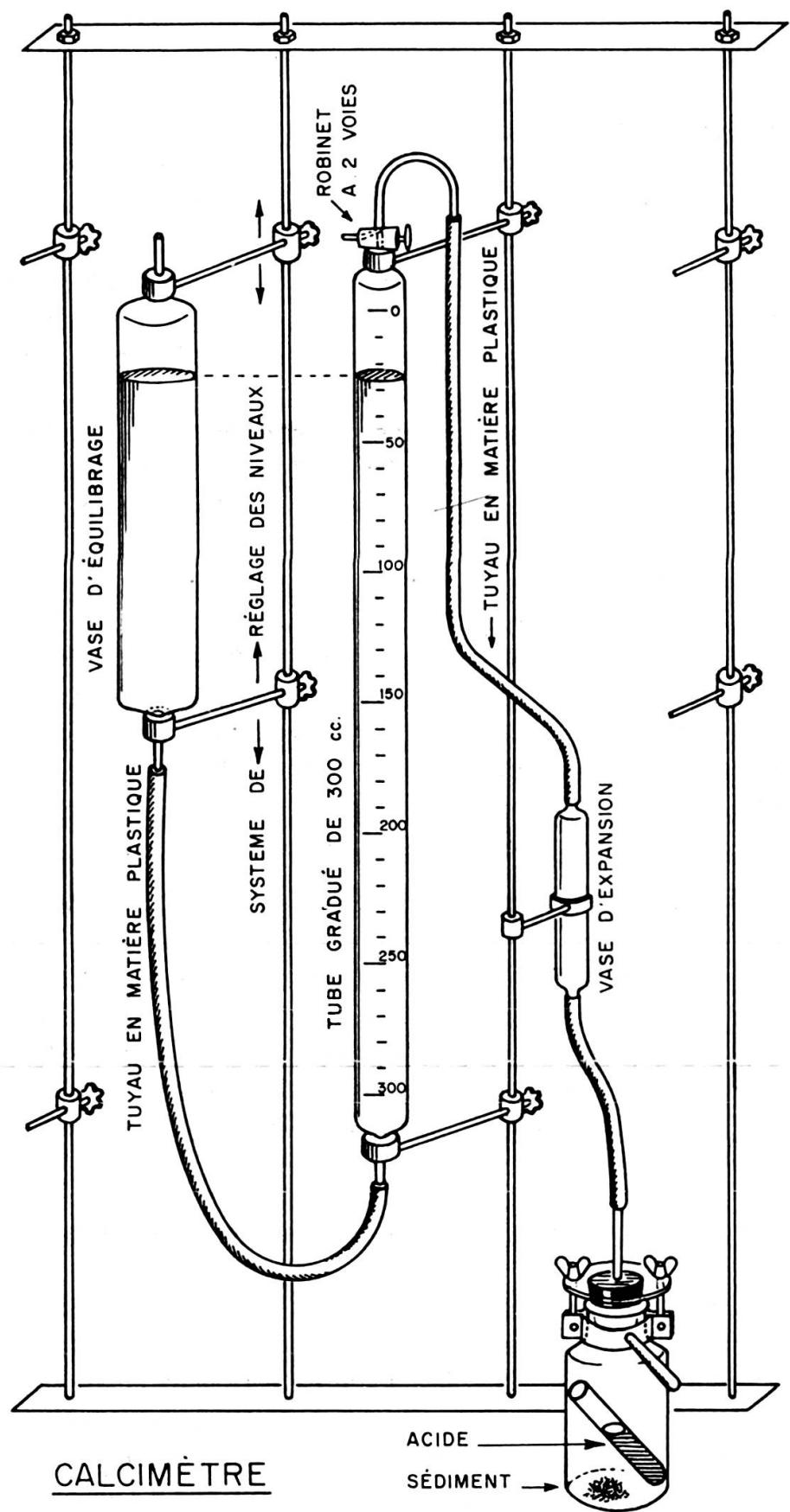


FIG. 1

#### 2.4. LE CALCIMÈTRE BERNARD (VATAN, 1956 et 1967)

Cet appareil est simple, peu coûteux et peut se construire facilement. Il a déjà été abondamment décrit dans la littérature; aussi, nous limiterons-nous à décrire notre appareil qui est une variante de l'appareil communément commercialisé (fig. 1).

Un flacon en verre épais reçoit le sédiment à analyser et une éprouvette en matière plastique remplie d'acide chlorhydrique technique à 50%. Ce récipient est fermé par un bouchon caoutchouc percé d'un trou pour laisser passer un tube de verre. Un collier avec une poignée est fixé au col du flacon, ce qui permet de l'agiter pour accélérer la réaction sans avoir à le prendre en main. On élimine ainsi le risque d'un échauffement du récipient dont la conséquence serait la dilation du mélange des gaz. Le récipient ainsi équipé est relié par un tuyau en plastique et un vase d'expansion au sommet d'un tube gradué de 0 à 300 cc, équipé d'un robinet à deux voies. La base du tube est reliée par un autre tuyau en matière plastique à un vase d'équilibrage. Le tube gradué et l'ampoule sont remplis d'une solution saturée de NaCl colorée légèrement au bleu de méthylène. Le vase d'équilibrage coulisse le long d'une tige métallique afin de pouvoir équilibrer les niveaux d'eau. Ainsi, dans le tube gradué, il n'y a ni compression, ni dépression du gaz. L'appareil est conçu pour être entièrement démontable et pour être associé en batterie. Au laboratoire, nous avons ainsi monté une série de cinq calcimètres, ce qui permet d'opérer en continu, sans temps d'attente.

On verra au paragraphe 6 comment employer l'appareil. Pour l'instant, il convient de rappeler brièvement les bases théoriques sur lesquelles repose la méthode volumétrique.

### 3. RÉSUMÉ DES BASES THÉORIQUES DE LA VOLUMÉTRIE

Lors de l'attaque du carbonate de calcium par l'acide chlorhydrique on observe la réaction suivante:



grâce à laquelle il est possible de déterminer le pourcentage de CaCO<sub>3</sub> d'une roche à partir de la quantité de CO<sub>2</sub> dégagée.

Les lois chimiques qui régissent la réaction sont brièvement rappelées:

1. Hypothèse d'Avogadro: Aux conditions normales de pression P<sub>0</sub> (760 mm Hg) et de température T<sub>0</sub> (0° C ou 273° K), une mole d'un gaz parfait occupe un volume V<sub>0</sub> = 22,4 litres. Dans la réaction ci-dessus, une mole de CaCO<sub>3</sub> (99,99 gr) dégage une mole de CO<sub>2</sub> (43,91 gr).

2. Loi de Boyle: Pression · volume =  $PV = \text{constante}$

3. Loi de Charles:  $\frac{V}{T} = \text{cte}$  où  $T = \text{temp. en } ^\circ\text{K}$

4. Loi de Gay-Lussac:  $\frac{P}{T} = \text{cte}$

Ces trois dernières lois sont réunies dans l'équation d'état des gaz parfaits (pour 1 mole):

$$PV = RT \text{ où } R = \frac{P_0 V_0}{273} \text{ constante des gaz parfaits.}$$

Pour une quantité quelconque  $q$  de gaz, de poids moléculaire  $n$ , on aura:

$$PV = \frac{q}{n} RT = \mu RT \text{ où } \mu = \text{nombre de moles.}$$

Quant au poids spécifique du gaz, il est égal au poids de l'unité de volume:

$$PS = \frac{q}{V} = \frac{nP}{RT}$$

Pour un gaz aux conditions  $P_m$  et  $T_m$  (où  $t_m$  en  $^\circ\text{C}$ ) on aura:

$$PS_m = PS_0 \frac{P_m 273}{T_m 760} = PS_0 \frac{273 P_m}{760 (t_m + 273)} \quad (2)$$

A partir du poids spécifique  $PS_m$ , on obtient le pourcentage de  $\text{CaCO}_3$  à l'aide de la formule suivante:

$$CA = \frac{M \cdot PS_m \cdot V \cdot 100}{p} \quad (3)$$

M: Poids moléculaire  $\text{CaCO}_3$ /Poids moléculaire  $\text{CO}_2 = \frac{100,09}{44,01} = 2,274$

PS: Poids spécifique du  $\text{CO}_2$  pour une pression et une température données [en mg/ml].

V: Volume de  $\text{CO}_2$  dégagé lors de l'attaque de la roche par  $\text{HCl}$  [en ml].

p: Poids de la roche attaquée [en mg].

CA: Pourcentage, en poids, de carbonate ( $\text{CaCO}_3$  essentiellement) contenu dans la roche.

Les valeurs de V et de p sont obtenues lors des mesures, et M est une constante. Quant à  $PS_m$  on le trouve dans des tables que nous allons examiner au paragraphe suivant.

Mentionnons encore que la formule (2) est théorique. On la corrige en tenant compte d'un certain nombre de facteurs et on arrive à la relation (4) employée lors des calculs.

#### 4. VALEURS DU POIDS SPÉCIFIQUE DU CO<sub>2</sub>

##### 4.1. TABLES DU POIDS SPÉCIFIQUE DE CO<sub>2</sub>

Parmi les auteurs figurant de telles tables, nous nous sommes référés aux suivants:

1. PARR (1909): Cette table I est valable pour des températures (t) variant entre 10° et 30° C et des pressions (P) comprises entre 720 et 770 mm Hg. Elle est corrigée pour la tension de vapeur et pour des pressions lues sur baromètre à échelle de verre.
2. Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) (1945): Il s'agit de la table I étendue à des pressions comprises entre 700 et 770 mm (table II).
3. FRIEDLER (1965), WIESSMANN (1951): Cette table III donne le poids spécifique de CO<sub>2</sub> pour des pressions de 742 à 774 mm Hg et des températures de 10° à 28° C. Elle est corrigée pour la tension de vapeur et l'absorption de CO<sub>2</sub> dans la solution chlorhydrique. Malheureusement, cette table peut difficilement être employée en Suisse, la pression y étant en général plus basse que 742. L'extrapolation pour des pressions plus faibles est difficile, car ces auteurs ne donnent aucune indication sur le taux d'absorption de CO<sub>2</sub> dans l'acide chlorhydrique. C'est pourquoi nous avons concentré nos efforts sur l'étude des tables I et II. On verra par la suite (sous 5.2.5) la part de l'absorption dans l'erreur sur le résultat final.

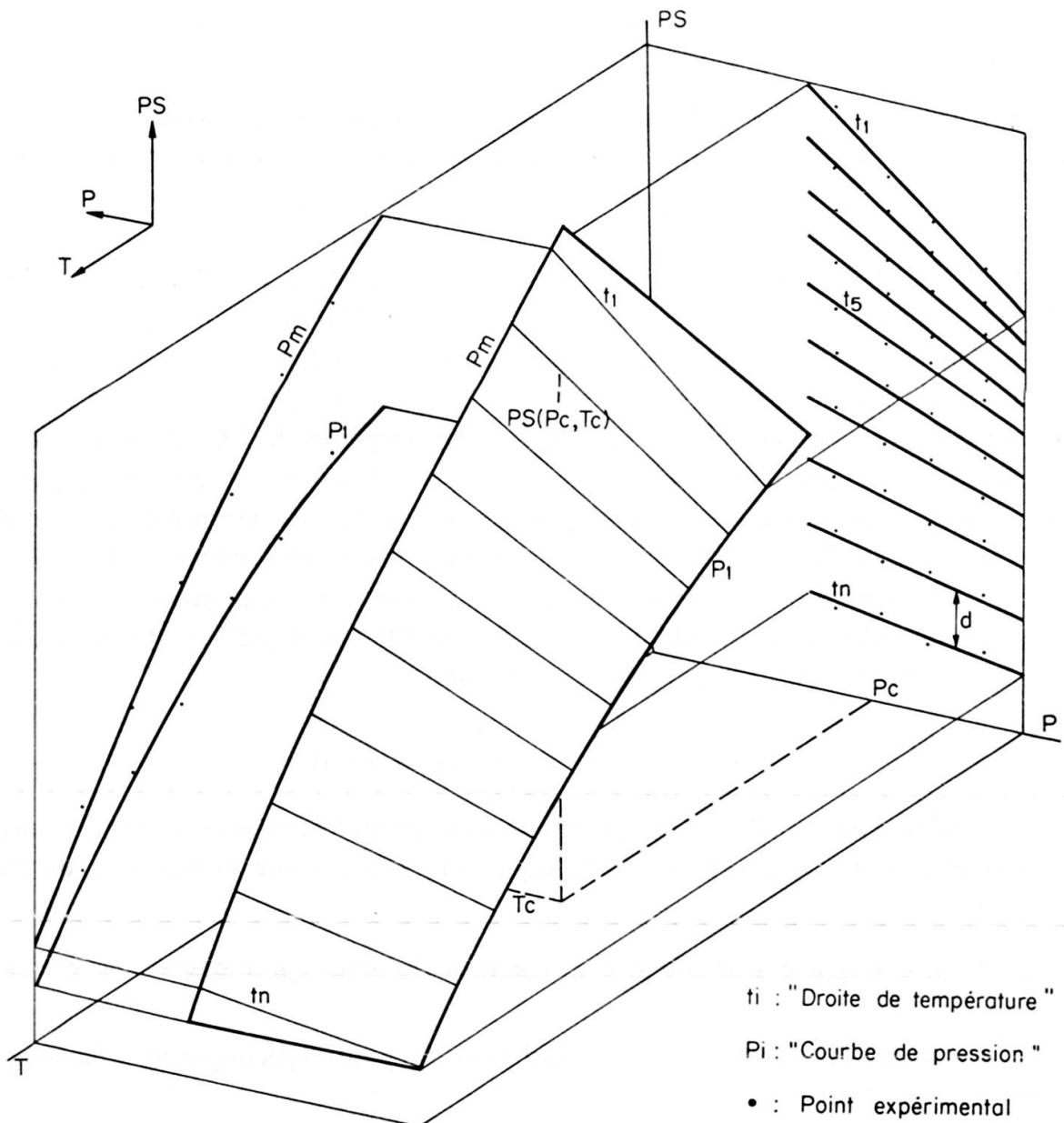
##### 4.2. EXAMEN DES TABLES I ET II

Afin d'avoir une meilleure compréhension de ces tables, nous les avons exprimées graphiquement. Cette expression graphique est résumée sur la figure 2 où l'on voit que:

1. Pour une température donnée, la variation du poids spécifique avec la pression semble linéaire.
2. Pour une pression donnée, la variation du poids spécifique avec la température n'est pas linéaire.
3. La pente des « droites de température » varie inversément proportionnellement avec la température.
4. L'espacement « d » entre les droites (fig. 2) augmente avec la température.

De plus, des graphiques plus précis ont montré que certains points expérimentaux (valeurs de la table) s'écartent sensiblement de la tendance générale. C'est le cas, en particulier, sur les « droites de température », des points correspondant à des pressions de 700-710 mm Hg.

Ce dernier fait laisse à penser qu'il y a des imprécisions dans la table II. Pour le vérifier nous avons repris la formule utilisée par PARR (1909) et avons recalculé complètement sa table.



Expression graphique de la variation du poids spécifique (PS) de  $\text{CO}_2$  en fonction de la pression (P) de la température T.

(Cette figure n'est pas à l'échelle et les points expérimentaux sont fictifs)

FIG. 2

### 4.3. VÉRIFICATION DES TABLES I ET II

4.3.1. La formule utilisée par PARR (1909, p. 243) pour calculer le poids spécifique du  $\text{CO}_2$  est la suivante:

$$PS_m = \frac{PS_0 (P_m - w - b)}{760 (1 + CE t_m)} \quad (4)$$

$PS_m$ : Poids en mg de 1 ml de  $\text{CO}_2$  pour une pression  $P_m$  et une température  $t_m$   
= Poids spécifique.

$PS_0$ : Poids spécifique du  $\text{CO}_2$  pour  $0^\circ \text{C}$  et 760 mm Hg, corrigé pour une latitude de  $41^\circ$  et une altitude de 100 m.  $PS_0 = 1,9760 \text{ mg/ml}$ .

$P_m, t_m$ : Pression en mm Hg et température en  $^\circ\text{C}$ .

$w$ : Correction pour la tension de vapeur en mm Hg (*Handbook*, p. 2326)<sup>1</sup>.

$b$ : Correction pour lecture sur baromètre à échelle de verre en mm Hg (*Handbook*, p. 2486)<sup>2</sup>.

$CE$ : Coefficient d'expansion du  $\text{CO}_2$  à volume constant  $CE = 0,0037135$ .

Les calculs ont été effectués par le programme NPARR (voir Appendice) sur l'ordinateur CDC3800 de l'Université de Genève. Les « sorties » sont les suivantes:

1. Table II.
2. Table recalculée (table 2).
3. Table des différences (table 2 – table II).

4.3.2. On remarque, à propos de ces différences, que:

1. Elles sont toutes négatives, sauf pour les « droites de température »  $21^\circ, 22^\circ, 23^\circ$  entre 700 et 715 mm Hg.

2. Elles portent sur la 4<sup>e</sup> décimale ( $-0,0001$  à  $-0,0007$ ) sauf pour les « droites de température »  $12^\circ, 13^\circ, 14^\circ$  et  $15^\circ$  où elles varient de  $-0,0010$  à  $-0,0036$  entre 700 et 715 mm Hg, ce qui confirme la mauvaise qualité de certaines valeurs de la table II.

3. Elles tendent à augmenter légèrement avec la température ( $-0,0001$  pour  $10^\circ$  à  $-0,0006$  pour  $30^\circ$ ). Ceci pourrait être dû aux coefficients  $w$  et  $b$  de PARR, qui sont probablement un peu différents de ceux extraits du *Handbook*.

### 4.4. VALEUR DE $PS_0$

Il nous reste à examiner la valeur du poids spécifique du  $\text{CO}_2$  aux conditions normales. Comme on l'a vu, PARR a choisi 1,9760. Il s'agit de la valeur donnée par

<sup>1</sup> PARR ne donne pas les valeurs qu'il a choisies pour  $w$  et  $b$ . Aussi les avons-nous supposées égales à celles du *Handbook of Chemistry*, 42<sup>e</sup> édition.

<sup>2</sup> Il existe aussi un facteur de correction pour échelle de laiton (*Handbook*, p. 2482).

GUYE (1907): 1,9768 et corrigée pour une latitude de 41° et une altitude de 100 m. La valeur du *Handbook* est de 1,9769, sans autre précision.

Cette correction en fonction de la latitude et de l'altitude se calcule de la façon suivante: A partir d'une table des valeurs de  $g$  (*Handbook*, p. 3367-3373), on fait le rapport suivant:

$$PS_z = \frac{PS_r g_z}{g_r} = PS_r Cg \quad (5)$$

$PS_z$ : Poids spécifique du  $CO_2$  au point  $z$  (latitude  $\alpha_z$ , altitude  $h_z$ ,  $P_z = 760$  mm Hg,  $t_z = 0^\circ C$ ).

$PS_r$ : Poids spécifique du  $CO_2$  mesuré au point de référence  $r$  (dans notre cas et selon GUYE (1907),  $\alpha_r = 45$ ,  $h_r = 0$ ,  $P_r = 760$ ,  $t_r = 0^\circ C$ ).

$g_z$ ,  $g_r$ : Valeurs de  $g$  aux points  $z$  et  $r$ .

$Cg = \frac{g_z}{g_r}$ : Facteur de correction.

Ainsi, pour l'exemple de PARR:

$$1,9760 = \frac{1,9768 \cdot 980,2301}{980,621} = 1,9768 \cdot 0,999601$$

Voici quelques valeurs du poids spécifique du  $CO_2$  calculées selon cette formule:

Ville	Latitude (au degré près)	Altitude (m)	$g$ ( $cm/sec^2$ )	$Cg$	$PS_z$
Königsberg . . . . .	55	22	981,477	1,000872	1,9785
Greenwich . . . . .	51	48	981,188	1,000578	1,9779
Paris . . . . .	49	61	980,943	1,000328	1,9774
Genève . . . . .	46	402	980,592	0,999970	1,9767
Rome . . . . .	42	49	980,367	0,999740	1,9763
Alger . . . . .	37	213	979,905	0,999269	1,9754

Pour le calcul de la nouvelle table des poids spécifiques du  $CO_2$  proposée ci-dessous nous avons choisi comme valeur de base  $PS_0$  celle qui est donnée dans le *Handbook* (p. 2128), à savoir 1,9769. Elle correspond sensiblement à la moyenne des valeurs de la table précédente.

#### 4.5. NOUVELLE TABLE DU POIDS SPÉCIFIQUE DE $CO_2$ (table 2)

Elle a été calculée par le programme NPARR sur la base de la formule (4). Ses caractéristiques sont:

—  $PS_0 = 1,9769$ .

- Corrigée pour tension de vapeur et lecture sur baromètre à échelle de verre.
- Non corrigée pour l'absorption de  $\text{CO}_2$  dans la solution chlorhydrique.
- Valable pour des températures allant de  $10^\circ$  à  $30^\circ$  C et des pressions de 700 à 770 mm Hg.

L'erreur sur le résultat final (% carbonate) lors de mesures faites en Allemagne du Nord ou en Algérie avec cette table ne dépassant pas 0,15%, on peut considérer cette dernière comme utilisable dans toute l'Europe occidentale.

#### 4.6. NOUVELLE TABLE DES COEFFICIENTS DU TYPE VATAN (1967) (table 3)

On voit sur la formule (3) que l'on peut multiplier le poids spécifique par la constante M et convertir p en gr, ce qui donne:

$$CA = CF_m \cdot \frac{V}{p} \quad (6)$$

$CF_m = \frac{M \cdot PS^m}{10}$  : Coefficient de la forme O,....

p: Poids de la roche attaquée en gr.

On obtient ainsi une table de coefficients analogue à celle des PS, qui épargne une multiplication lors du calcul du pourcentage de carbonate CA. Une table de ce genre a été publiée par VATAN en 1956 et 1967 (p. 169). Elle est basée sur la table III, avec les mêmes limitations que cette dernière.

Celle que nous proposons est basée sur nos propres valeurs du poids spécifique de  $\text{CO}_2$ . Elle a été calculée par le programme NPARR; elle est plus étendue et comprend les températures de  $10-30^\circ$  C et les pressions de 700-770 mm/Hg.

#### 4.7. FORMULE ANALYTIQUE DONNANT LE POIDS SPÉCIFIQUE DE $\text{CO}_2$

4.7.1. Lors de mesures calcimétriques, on a d'habitude recours aux tables des poids spécifiques du  $\text{CO}_2$  ou de coefficients telles que nous venons de les présenter. On pourrait aussi utiliser sur une formule du type

$$CA = \text{fonction (P, T, V, constantes).}$$

Cette formule est programmable sur un petit ordinateur, sans passer par les tables précitées.

4.7.2. Les observations faites sur l'expression graphique de la table II (p. 265 et fig. 2), nous ont conduits à tenter l'ajustement de fonctions simples sur les valeurs du poids spécifique. L'organigramme de la figure 3 résume les étapes suivies. La formule obtenue est de la forme:

$$PS = (A \cdot T + B) \cdot P + C \cdot T^3 + D \cdot T^2 + E \cdot T + F, \\ \text{où A, B, C, D, E, F = constantes.} \quad (7)$$

Si l'on fait  $T = \text{constante}$ , on a

$$PS = H \cdot P + K, \text{ où } H \text{ et } K = \text{constantes},$$

qui est l'équation d'une « droite de température »  $t$  (fig. 2).

Si l'on fait  $P = \text{constante}$ , on a

$$PS = CT^3 + DT^2 + LT + F, \text{ où } C, D, L, F = \text{constantes},$$

qui est l'équation d'une « courbe de pression »  $p$  (fig. 2).

4.7.3. Le choix du degré du polynôme s'ajustant le mieux aux courbes  $p$  est fait à partir du programme LSQFIT. On se référera à sa description pour plus de détails. Dans notre cas, il s'agit très nettement du 3<sup>e</sup> degré.

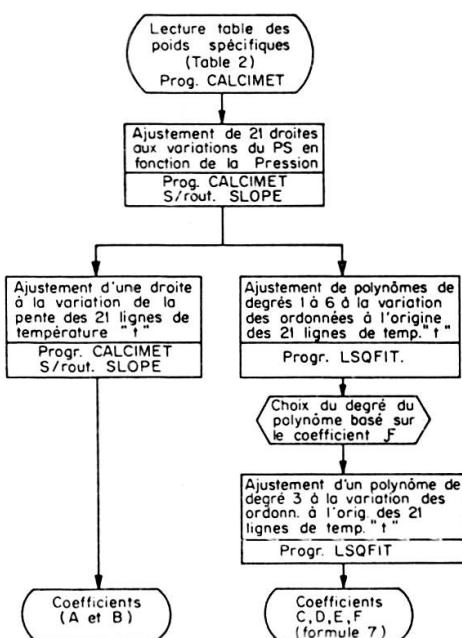
On arrive aux formules suivantes :

$$PS_m = (-0,000008737 T + 0,002589406) P - 0,0000008394 T^3 - 0,0000127888 T^2 - 0,0009870813 T - 0,0112869901 \quad (8)$$

$$CA = \frac{0,2274 PS_m V}{p} \quad (9)$$

4.7.4. Pour vérifier la formule (8), nous l'avons utilisée pour établir une nouvelle table des poids spécifiques, puis avons calculé les différences entre ces dernières valeurs et celles provenant de la table 2 (programme ANALCA) :

Degré C	Déférence
10	-0,0014
11	-0,0009
12	-0,0006
13	-0,0003
14	0,0000
15	0,0003
16	0,0005
17	0,0006
18	0,0007
19	0,0008
20	0,0008
21	0,0008
22	0,0007
23	0,0006
24	0,0004
25	0,0002
26	0,0000
27	-0,0003
28	-0,0006
29	-0,0009
30	-0,0013



Ces différences varient avec la température seule, comme indiqué sur le tableau ci-dessus. Dans le domaine d'utilisation habituel (15-25°C), la différence des poids spécifiques ne dépasse pas 0,0008. En terme de pourcentage de carbonate et pour un dégagement de 250 ml de CO<sub>2</sub>, la différence n'excède pas 0,05 %.

Cette « erreur » est très inférieure à la tolérance requise pour les mesures habituelles de calcimétrie. Par conséquent, on peut soit employer la formule analytique 8, soit la table des poids spécifiques.

FIG. 3

## 5. ERREUR SUR LES RÉSULTATS

Le résultat d'une mesure calcimétrique est plus ou moins proche du vrai pourcentage de carbonate contenu dans la roche. La différence entre ces deux valeurs, ou *erreur totale*, dépend des termes suivants:

1. « Dispersion »: Si l'on fait plusieurs mesures sur un même échantillon, on peut en calculer la moyenne et l'écart-type, qui est une estimation de la dispersion des mesures autour de la moyenne. Si la dispersion est petite, on dira que l'appareil a une bonne reproductibilité. Cette dispersion est due aux imperfections de l'appareillage ainsi qu'à la conduite des mesures.

2. « Dérive »: La moyenne de plusieurs mesures est elle-même plus ou moins éloignée de la vraie teneur en carbonate. Cette erreur est inhérente à la méthode employée.

Examinons maintenant ces deux types d'erreur.

### 5.1. DISPERSION ET REPRODUCTIBILITÉ

Les différents facteurs qui seraient susceptibles d'influencer sur la dispersion des résultats sont les suivants:

#### 5.1.1. *Conduite de la mesure*

Toutes les mesures ont été effectuées comme suit:

- Pesée soigneuse et transfert de la poudre de la balance en évitant toute perte.
- Flacons de réaction à la température ambiante.

- Agitation constante du flacon (tenu par son manche) pour activer la réaction.
- Lecture à la base du ménisque aussitôt que l'effervescence principale (calcite) est terminée, ainsi qu'après 20 minutes si l'échantillon contient de la dolomite.

On peut donc considérer que la conduite de la mesure n'a que très peu d'influence sur la dispersion.

### 5.1.2. *Appareillage*

Les fuites de gaz peuvent être éliminées par une construction soigneuse (tuyaux de plastique, robinets vaselinés).

Comme le calcimètre consiste en une batterie de 5 tubes, il est important de s'assurer que ces derniers aient des performances semblables. Pour ce faire, nous avons effectué 18 mesures sur de la calcite dans chacun des 5 tubes et calculé moyennes et variances. Les moyennes varient entre 98,89 et 99,48 % et les variances entre 0,176 et 0,474 %.

L'homogénéité des variances a été testée et confirmée par le programme VTEST, à l'aide des méthodes de BARTLETT (MILLER et KAHN, p. 111) et de HAZEN (1958, p. 76). Puis une analyse de variance simple a montré que les moyennes des résultats des 5 tubes ne diffèrent pas significativement. Par conséquent, on peut considérer que les 5 tubes ont des performances semblables et que leur influence sur la dispersion des mesures est négligeable.

### 5.1.3. *Absorption différentielle du CO<sub>2</sub> dans le liquide de mesure*

Afin d'uniformiser cette absorption dans les différents tubes et de la réduire au minimum, le liquide du tube de mesure a été saturé en NaCl et on y a fait barboter du CO<sub>2</sub> pendant une heure. La valeur de l'absorption ne dépasse pas 2 ml 20 heures après le début d'une mesure; d'autre part, elle ne varie pas au cours du temps lors d'une série de mesures effectuées dans un même tube.

On peut donc admettre que l'absorption dans la saumure est sans influence appréciable sur la dispersion des mesures.

### 5.1.4. *Teneur en carbonate et poids des prises*

On a constaté empiriquement que la dispersion d'une série de mesures faites sur le même échantillon (exprimée par l'écart-type  $\sigma$ ), tend à augmenter légèrement avec la teneur en carbonate. En effet, les valeurs de  $\sigma$  obtenue avec notre calcimètre varient entre 0,3 % pour une teneur de 20 % et 0,6 % pour une teneur de 100 %. Des mesures faites sur un autre modèle avaient donné des  $\sigma$  variant entre 0,6 et 1,2 %.

Il semble que cette légère augmentation dépende en grande partie des erreurs de pesée. On peut démontrer que, d'une part, plus le poids des prises sera faible plus l'erreur relative sur la pesée augmentera et plus les résultats en pour-cent de

carbonate seront dispersés. D'autre part, une erreur de pesée de 0,01 gr\* faite sur une prise de  $\text{CaCO}_3$  pur produira, sur le résultat final, une différence plus grande que si la poudre a une teneur de 10%. Par conséquent, la dispersion aura tendance à croître avec la teneur et à décroître quand le poids de la prise augmente.

Pratiquement, on réduira la dispersion en déterminant le poids maximum  $p_{\max}$  de  $\text{CaCO}_3$  pur qui peut être mesuré dans le tube gradué et en travaillant sur des prises de poids constant  $p_{\max}$ . Pour le tube de 300 cc que nous avons employé,  $p_{\max} = 1,17$  gr et nous avons travaillé sur des prises de 1 gr.

On pourrait encore améliorer la méthode en augmentant le poids des prises lorsque la teneur baisse. Cette dernière doit alors être estimée avant la mesure.

#### 5.1.5. *Granulométrie de la poudre*

Lorsqu'on analyse des calcaires dolomitiques, on fait la seconde lecture 20 minutes après le début de la réaction. A ce moment, on peut considérer que la quasi-totalité de la dolomite a été attaquée. Cette dernière l'est d'autant mieux que sa granulométrie est plus fine. DREIMANIS (1962, p. 523) recommande — 200 mesh (0,074 mm). Si les différences de granulométrie sont trop importantes d'une mesure à l'autre, les particules dolomitiques plus grossières risquent d'être incomplètement attaquées. Un broyage de plusieurs minutes au mortier de porcelaine produit une poudre à granulométrie suffisamment homogène pour que son influence sur la dispersion soit minime.

#### 5.1.6. *Estimation de la reproductibilité*

D'après ce qui précède, on voit que seuls la teneur en carbonate et le poids des prises influencent la dispersion des résultats d'une façon significative, encore que modérée.

Pour estimer la reproductibilité des mesures faites à l'aide d'un calcimètre donné sur des prises de poids constant, on procède comme suit:

- On fait plusieurs mesures sur chaque échantillon  $i$  d'une série dont les teneurs s'échelonnent entre 0 et 100%. On calcule la moyenne  $\bar{x}_i$  et l'écart-type  $\sigma_i$  pour chaque échantillon.
- On exprime graphiquement la relation entre les différents  $\bar{x}_i$  et  $\sigma_i$  ( $\bar{x}_i$  en abscisses,  $\sigma_i$  en ordonnées). Sur le graphique, on trace une droite passant juste en dessus des valeurs maximales de  $\sigma$ . Cette droite exprime une estimation sûre des valeurs de  $\sigma$  en fonction de la teneur.
- Calcul des valeurs de la « dispersion » définie comme  $Er = \pm 2 \sigma$ . Cette erreur varie avec la teneur et sa signification est la suivante:

\* Balance Mettler type K7GD.

Si l'on fait une série de mesures sur un échantillon A, il y a 95 chances sur 100 que la moyenne  $\bar{x}_A$  des mesures tombe dans l'intervalle compris entre  $x - 2\sigma_A$  et  $x + 2\sigma_A$ ,  $x$  étant une mesure quelconque.

Abstraction faite de la « dérive » ou erreur absolue définie plus loin, toute mesure faite sur un calcimètre ainsi testé devrait s'exprimer comme suit:

$$x \pm Er$$

Er étant, pour la teneur  $x$ , l'erreur maximale estimée à l'aide du graphique susmentionné.

TABLE 1

Echantillon	Méthode et nombre de mesures	CO %	CaO %	MgO %	Calcite %	Dolomite %	Total Carbonates %
J2 Argile glaciaire	Calcimétrique 10	10,7	—	—	24,3	0	24,3
	Chimique	11,20	15,0	3,0	25,5 <sup>1</sup>	0	25,5
	Doubles pesées 3	—	—	—	—	—	32,4
T34 Marne crétacée	Calcimétrique 5	24,1	—	—	54,7	0	54,7
	Chimique	24,06	33,4	1,2	54,7 <sup>1</sup>	0	54,7
	Doubles pesées 3	—	—	—	—	—	62,0
T68 Marne crétacée	Calcimétrique 10	32,6	—	—	74,2	?	74,2
	Chimique	33,32	42,1	1,6	71,7	3,7 <sup>2</sup>	75,4
M55 Calcaire dolomitique	Calcimétrique 10	26,9	—	—	50,8	9,5	60,3
	Chimique	27,02	32,1	2,9	46,9	13,4 <sup>3</sup>	60,3
Calcite pure	Calcimétrique 91	59,5	39,6	0	99,1	0	99,1
	Théorique	60,0	40,0	0	100,0	0	100,0

<sup>1</sup> Tout MgO et une partie de CaO dans l'argile.

<sup>2</sup> MgO et CaO en partie dans l'argile.

<sup>3</sup> CaO en partie dans l'argile — Tout MgO dans la dolomite.

Dans le cas de notre calcimètre, Er varie entre 0,6% pour les teneurs voisines de 20% et 1,3% pour les teneurs supérieures à 90%.

On dira donc que la *reproductibilité* des mesures diminue lorsque la teneur augmente.

### 5.2. DÉRIVE OU « ERREUR ABSOLUE »

Nous avons comparé sur quelques échantillons les déterminations de carbonate faites soit par calcimétrie, soit par les méthodes chimiques classiques, soit par double pesée. Les résultats en sont reportés sur la table 1 qui peut être commentée comme suit:

#### 5.2.1. *Méthode d'analyse chimique*

La somme de CaO et MgO, puis MgO seul, ont été dosés par colorimétrie, avec une précision d'environ 0,5%. Il s'agit du calcium et du magnésium total, contenus dans les argiles et les carbonates, car les déterminations ont été faites après attaques à HCl et HF. Le CO<sub>2</sub> a été déterminé par perte-au-feu (1100° C pendant une heure environ), après déduction de l'eau d'hydratation des argiles (déterminée par la méthode de Penfield).

#### 5.2.2. *Méthode des doubles pesées*

Cette méthode a été décrite dans l'introduction de cet article. Disons simplement que nous avons travaillé sur des prises de 10 gr trois fois pour les échantillons J2 et T34. On voit dans la table 1 que les résultats donnés par cette méthode sont environ 7% plus forts que ceux de la calcimétrie ou de la méthode chimique. Ceci provient sans doute de pertes sur le résidu survenues lors des décantations. Pour diminuer l'importance relative de ces pertes, il faudrait travailler sur des quantités de roches plus grandes.

Même avec l'amélioration suggérée, cette méthode n'est pas avantageuse vu sa lenteur. Elle peut être néanmoins employée en combinaison avec la calcimétrie pour la détermination approximative du pourcentage de gypse contenu dans la roche (D. KISSLING, communication orale).

#### 5.2.3. *Dolomite*

Sa présence ayant été déterminée par coloration sélective préalable selon la méthode de FRIEDMAN (1959), on a pu répartir MgO entre les argiles et les carbonates. Pour l'échantillon T68, MgO a été réparti arbitrairement à moitié entre les deux.

#### 5.2.4. *Calcimétrie*

Tous les échantillons testés, à l'exception de M55, ont montré une forte effervescence assez rapidement stabilisée, suivie ensuite d'une décroissance du volume

de  $\text{CO}_2$  due à son absorption dans la solution chlorhydrique. La mesure a été faite au volume maximum.

Dans le cas de M55 (calcaire dolomitique gréseux), une seconde réaction, plus lente, a suivi la première. La calcite et une petite partie de la dolomite ont été attaquées d'abord (première lecture), suivies du reste de la dolomite (deuxième lecture, après 20 minutes). Ceci explique que les valeurs trouvées par calcimétrie sont un peu trop fortes pour la calcite et un peu trop faibles pour la dolomite (voir table 1, 7<sup>e</sup> ligne). Ces deux vitesses de réactions pour la calcite et la dolomite sont à la base du procédé employé dans l'appareil de Chittick (DREIMANIS, 1962) et le manocalcimètre enregistreur (CARO, 1964).

#### 5.2.5. *Comparaison des résultats*

En supposant exactes les valeurs données par la méthode chimique classique, on constate que les résultats obtenus avec le calcimètre sont fort bons.

Pour le  $\text{CO}_2$ , les différences entre les deux méthodes ne dépassent pas 0,5%. Dans le cas d'un calcaire dolomitique, comme le pourcentage de calcite mesuré par calcimétrie tend à être trop fort et celui de dolomite trop faible, on pourrait leur appliquer une correction empirique de quelques pour-cent. Il est plus sûr de considérer la somme des carbonates pour lesquels les différences ne dépassent pas 2,6%.

Sur cette somme, les résultats donnés par calcimétrie sont légèrement plus faibles. Il semble que ce défaut de  $\text{CO}_2$  soit dû à son absorption dans la solution chlorhydrique. Lors de mesures faites sur de la calcite pure, on a remarqué que le volume du gaz contenu dans le circuit de mesure diminuait avec le temps, sauf si l'on isolait le flacon de réaction. En outre, l'absorption croissait avec la quantité d'HCl utilisée pour l'attaque (effet de barbotage).

#### 5.2.6. *Evaluation de la dérive*

Les quelques tests effectués (table 1) permettent d'estimer la dérive moyenne à environ 0,7% de carbonate. En d'autres termes, les moyennes  $\bar{x}$  de  $n$  mesures calcimétriques donnant la somme des carbonates seront en moyenne de 0,7% inférieures à la réalité, avec 95% des différences comprises entre +0,7 et -2,1%. Une évaluation précise de cette dérive nécessiterait davantage de comparaisons entre les résultats des méthodes calcimétrique et chimique. Aussi ces chiffres ne sont-ils qu'indicatifs.

Ajoutons encore que la dérive ne dépend, à première vue, ni de la teneur ni du type de carbonate présent dans la roche.

### 5.3. ESTIMATION DE L'ERREUR TOTALE SUR LA SOMME DES CARBONATES

On a vu (p. 275) que la dispersion maximale  $E_r$ , pour notre calcimètre, était de  $\pm 1,3\%$ . D'autre part, si l'on fait  $n$  mesures sur un même échantillon, on sait que

la différence entre leur moyenne  $\bar{x}$  et la vraie teneur en carbonate a 95 chances sur 100 de se trouver entre  $+0,7$  et  $-2,1\%$ .

On peut démontrer que, dans ces conditions, l'erreur totale affectant une mesure quelconque s'exprime de la façon suivante:

$$x \begin{cases} -2\% \\ +3,4\% \end{cases} \quad \text{où } x \text{ est une mesure quelconque.}$$

En d'autres termes, la vraie teneur en carbonate a 95 chances sur 100 de tomber dans l'intervalle compris entre  $x - 2\%$  et  $x + 3,5\%$  environ.

## 6. MARCHE A SUIVRE POUR LES MESURES

1. Déterminer la présence de dolomite par coloration sélective (FRIEDMAN, 1959).
2. Broyer la roche au mortier de porcelaine et tamiser éventuellement à  $-200$  mesh.
3. Sécher à l'étuve à  $100^\circ \text{C}$  pendant une nuit.
4. Peser 1 gr de poudre sur bristol<sup>1</sup>.
5. Transvaser dans le flacon.
6. Introduire la petite éprouvette de plastique contenant 5 cc d'HCl à 50%.
7. Fermer le flacon, équilibrer les niveaux puis mettre en légère dépression.
8. Faire démarrer la réaction puis secouer le bocal tenu par le manche; garder le système en légère dépression tout au long de l'expérience.
9. Faire une première lecture à la fin de la réaction rapide (volume  $V_1$ ).
10. Faire une seconde lecture après 20 minutes si de la dolomite est présente (vol.  $V_2$ ).
11. Noter la pression  $P_m$  et la température  $t_m$ <sup>2</sup>.
12. Trouver le coefficient  $CF_m$  dans la table 3 pour les valeurs de  $P_m$  et de  $t_m$  et le multiplier par  $V_1$ , ce qui donne le % de  $\text{CaCO}_3$ .
13. Si de la dolomite est présente, on fait  $A = 0,92 \cdot CF_m$  et le % de dolomite =  $A (V_2 - V_1)$ <sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Le poids, aussi grand que possible, dépend du volume du tube gradué.

<sup>2</sup> Les essais faits pour déterminer la température à l'intérieur du flacon par un thermomètre fiché dans son bouchon n'ont pas donné de résultats vu l'inertie du thermomètre. Aussi la température a-t-elle été mesurée à l'extérieur du flacon, après avoir ajouté un vase d'expansion dans le circuit de mesure.

<sup>3</sup> Comme les poids moléculaires de la calcite et de la dolomite sont différents, il faut corriger  $CF_m$ , établi pour la calcite, avant de l'appliquer à la dolomite.

## REMERCIEMENTS

La présente publication est le développement d'un travail de diplôme effectué à l'Université de Lausanne en 1965 par G. CIFALI sous la direction de l'un d'entre nous (J.-P. Vernet). M. Rod, de la Station fédérale d'Essais agricoles de Lausanne, nous a aimablement fourni les plans de son calcimètre, qui a servi de modèle à notre propre appareil; il nous a en outre transmis une abondante documentation. Nous lui en sommes très reconnaissants. P. Vuagnat et R. Olivier nous ont utilement conseillé dans les domaines de la statistique et de la programmation. M<sup>me</sup> G. Gulaçar a bien voulu se charger de l'analyse chimique de nos échantillons. L. Egger, D. Kissling, J. Jaquet et M<sup>me</sup> R. Stevens nous ont aidé à titres divers à mener à bien cette étude. Qu'ils en soient tous remerciés.

## APPENDICE

Liste des programmes FORTRAN utilisés dans ce travail:

1) NPARR: Ce programme calcule une table des poids spécifiques de CO<sub>2</sub> à l'aide de la formule de PARR (1909), ainsi qu'une table des coefficients du type VATAN (1956).

Entrées: Facteurs de correction pour tension de vapeur et échelle barométrique de verre. Table II originale des PS de CO<sub>2</sub>.

Sorties: 1. Table des PS pour PS<sub>0</sub> = 1,9769 (table 2).  
 2. Différences entre table 2 et table II.  
 3. Table des coefficients type VATAN pour PS<sub>0</sub> = 1,9769 (table 3).  
 4. Table des PS pour PS<sub>0</sub> = 1,9760.  
 5. Différences entre 4 ci-dessus et table II.  
 6. Table des coefficients type VATAN pour PS<sub>0</sub> = 1,9760.

2) CALCIMET et SLOPE: Ajuste des droites aux 21 lignes de température et ajuste une droite à la variation de leur pente.

Entrée: Table 2.

Sortie: 1. Paramètres des 21 droites ajustées (coefficients A et B, formule 7).  
 2. Paramètres de la variation linéaire de leur pente.  
 3. Perforation sur cartes de l'ordonnée à l'origine des 21 droites ajustées (= données pour LSQFIT).

3) LSQFIT (Bibliothèque des programmes de l'Université de Genève, n° E202; voir description détaillée).

Entrée: Voir ci-dessus.

Sortie: Premier passage — Coefficients des polynômes ajustés sur l'ordonnée à l'origine des 21 droites de température (degrés 1 à 6).  
 Deuxième passage — Après choix du polynôme de degré 3, coefficients C, D, E, F de la formule (7).

4) ANALCA: Calcule une table des PS à l'aide de la formule 8, ainsi les différences avec la table 2.

Entrée: Coefficients A, B, C, D, E, F.

Sortie: Table calculée et table des différences.

5) VTEST: Teste l'homogénéité d'une série de variances par deux méthodes basées sur les distributions de  $F$  et  $\chi^2$  (voir HAZEN, p. 76 et MILLER et KAHN, p. 109).

Tous ces programmes, à l'exception de LSQFIT, sont déposés à la bibliothèque de l'Institut de Géologie, rue des Maraîchers 11, Genève.

## RÉFÉRENCES

- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (1945). Official and tentative methods of analysis, 6<sup>e</sup> édition, Washington.
- CARO, Y. et al. (1964). Technique de laboratoire en géologie pétrolière. Editions Technip, Paris.
- DREIMANIS, A. (1962). Quantitative gasometric determination of calcite and dolomite using Chittik apparatus. *Jour. Sed. Petrol.*, vol. 32/3, pp. 520-529.
- FRIEDLER, H. (1965). Die Untersuchung der Böden, vol. 2, pp. 50-54. Editions Th. Steinkopff, Dresden.
- FRIEDMAN, G. (1959). Identification of carbonate minerals by staining methods. *Journ. Sed. Petrol.*, vol. 29, n° 1, pp. 87-97.
- GUYE, P. (1907). Recherches modernes sur les densités des gaz. *Journ. de Chimie phys.*, avril 1907, pp. 203-233.
- HAZEN, S. (1958). Comparative study of statistical analysis and other methods of computing ore reserves (...). U.S. Bureau of Mines, Report of Investigations 5375.
- HODGMAN, C., éditeur (1960). Handbook of Chemistry and Physics, 42<sup>e</sup> édition. The Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland.
- MILLER, R. et KAHN, J. (1962). Statistical analysis in the Geological Sciences, Wiley, Londres.
- PARR, S. (1909). The weight of carbon dioxide with a table of calculated results. *Journ. of Amer. Chem. Soc.*, vol. 31, pp. 237-243.
- VATAN, A. (1956). Travaux pratiques de pétrographie sédimentaire. Institut français du pétrole, Paris.
- (1967). Manuel de sédimentologie. Editions Technip, Paris.
- WIESSMANN, K. (1951). Agrikulturchemisches Praktikum, pp. 36-38, Parey Verlag, Berlin.
- WOLFE, J. et BARTLETT, V. (1958). Gasometric determination of calcite and dolomite. *Geol. Soc. of America Bull.*, vol. 69, pp. 1664-1665.

TABLE 2

DEGRÉ C	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
MM MG										
700	1.7295	1.7214	1.7134	1.7052	1.6970	1.6888	1.6805	1.6721	1.6637	1.6552
701	1.7320	1.7239	1.7159	1.7077	1.6995	1.6912	1.6829	1.6746	1.6661	1.6576
702	1.7345	1.7264	1.7183	1.7102	1.7020	1.6937	1.6854	1.6770	1.6686	1.6600
703	1.7370	1.7289	1.7208	1.7126	1.7044	1.6962	1.6878	1.6795	1.6710	1.6625
704	1.7395	1.7314	1.7233	1.7151	1.7069	1.6986	1.6903	1.6819	1.6734	1.6649
705	1.7420	1.7339	1.7258	1.7176	1.7094	1.7011	1.6927	1.6843	1.6759	1.6673
706	1.7445	1.7364	1.7283	1.7201	1.7118	1.7035	1.6952	1.6868	1.6783	1.6697
707	1.7470	1.7389	1.7308	1.7225	1.7143	1.7060	1.6976	1.6892	1.6807	1.6722
708	1.7495	1.7414	1.7333	1.7250	1.7168	1.7084	1.7001	1.6917	1.6832	1.6746
709	1.7521	1.7439	1.7357	1.7275	1.7192	1.7109	1.7025	1.6941	1.6856	1.6770
710	1.7546	1.7464	1.7382	1.7300	1.7217	1.7134	1.7050	1.6965	1.6880	1.6794
711	1.7571	1.7489	1.7407	1.7325	1.7242	1.7158	1.7074	1.6990	1.6905	1.6818
712	1.7596	1.7514	1.7432	1.7349	1.7266	1.7183	1.7099	1.7014	1.6929	1.6843
713	1.7621	1.7539	1.7457	1.7374	1.7291	1.7207	1.7123	1.7039	1.6953	1.6867
714	1.7646	1.7564	1.7482	1.7399	1.7316	1.7232	1.7148	1.7063	1.6978	1.6891
715	1.7671	1.7589	1.7507	1.7424	1.7340	1.7256	1.7172	1.7087	1.7002	1.6915
716	1.7696	1.7614	1.7531	1.7448	1.7365	1.7281	1.7197	1.7112	1.7026	1.6940
717	1.7721	1.7638	1.7556	1.7473	1.7390	1.7306	1.7221	1.7136	1.7050	1.6964
718	1.7746	1.7663	1.7581	1.7498	1.7414	1.7330	1.7246	1.7161	1.7075	1.6988
719	1.7771	1.7688	1.7606	1.7523	1.7439	1.7355	1.7270	1.7185	1.7099	1.7012
720	1.7796	1.7713	1.7631	1.7547	1.7464	1.7379	1.7295	1.7210	1.7123	1.7037
721	1.7821	1.7738	1.7656	1.7572	1.7488	1.7404	1.7319	1.7234	1.7148	1.7061
722	1.7846	1.7763	1.7680	1.7597	1.7513	1.7429	1.7344	1.7258	1.7172	1.7085
723	1.7871	1.7788	1.7705	1.7622	1.7538	1.7453	1.7368	1.7283	1.7196	1.7109
724	1.7896	1.7813	1.7730	1.7646	1.7562	1.7478	1.7393	1.7307	1.7221	1.7133
725	1.7921	1.7838	1.7755	1.7671	1.7587	1.7502	1.7417	1.7331	1.7245	1.7158
726	1.7946	1.7863	1.7780	1.7696	1.7612	1.7527	1.7442	1.7356	1.7269	1.7182
727	1.7971	1.7888	1.7805	1.7721	1.7636	1.7551	1.7466	1.7380	1.7294	1.7206
728	1.7996	1.7913	1.7830	1.7746	1.7661	1.7576	1.7491	1.7405	1.7318	1.7230
729	1.8021	1.7938	1.7854	1.7770	1.7686	1.7601	1.7515	1.7429	1.7342	1.7255
730	1.8046	1.7963	1.7879	1.7795	1.7710	1.7625	1.7540	1.7453	1.7366	1.7279
731	1.8071	1.7988	1.7904	1.7820	1.7735	1.7650	1.7564	1.7478	1.7391	1.7303
732	1.8096	1.8013	1.7929	1.7845	1.7760	1.7674	1.7589	1.7502	1.7415	1.7327
733	1.8121	1.8038	1.7954	1.7869	1.7784	1.7699	1.7613	1.7527	1.7439	1.7351
734	1.8146	1.8063	1.7979	1.7894	1.7809	1.7723	1.7638	1.7551	1.7464	1.7376
735	1.8171	1.8088	1.8004	1.7919	1.7834	1.7748	1.7662	1.7575	1.7488	1.7400
736	1.8197	1.8113	1.8028	1.7944	1.7858	1.7773	1.7686	1.7600	1.7512	1.7424
737	1.8222	1.8138	1.8053	1.7968	1.7883	1.7797	1.7711	1.7624	1.7537	1.7448
738	1.8247	1.8162	1.8078	1.7993	1.7908	1.7822	1.7735	1.7649	1.7561	1.7473
739	1.8272	1.8187	1.8103	1.8018	1.7932	1.7846	1.7760	1.7673	1.7585	1.7497
740	1.8297	1.8212	1.8128	1.8043	1.7957	1.7871	1.7784	1.7697	1.7610	1.7521
741	1.8322	1.8237	1.8153	1.8067	1.7982	1.7896	1.7809	1.7722	1.7634	1.7545
742	1.8347	1.8262	1.8178	1.8092	1.8006	1.7920	1.7833	1.7746	1.7658	1.7569
743	1.8372	1.8287	1.8202	1.8117	1.8031	1.7945	1.7858	1.7771	1.7682	1.7594
744	1.8397	1.8312	1.8227	1.8142	1.8054	1.7969	1.7882	1.7795	1.7707	1.7618
745	1.8422	1.8337	1.8252	1.8167	1.8080	1.7994	1.7907	1.7819	1.7731	1.7642
746	1.8447	1.8362	1.8277	1.8191	1.8105	1.8019	1.7931	1.7844	1.7755	1.7666
747	1.8472	1.8387	1.8302	1.8216	1.8130	1.8043	1.7956	1.7868	1.7780	1.7691
748	1.8497	1.8412	1.8327	1.8241	1.8155	1.8068	1.7980	1.7893	1.7804	1.7715
749	1.8522	1.8437	1.8351	1.8266	1.8179	1.8092	1.8005	1.7917	1.7828	1.7739
750	1.8547	1.8462	1.8376	1.8290	1.8204	1.8117	1.8029	1.7941	1.7853	1.7763
751	1.8572	1.8487	1.8401	1.8315	1.8229	1.8141	1.8054	1.7966	1.7877	1.7787
752	1.8597	1.8512	1.8426	1.8340	1.8253	1.8166	1.8078	1.7990	1.7901	1.7812
753	1.8622	1.8537	1.8451	1.8365	1.8278	1.8191	1.8103	1.8015	1.7926	1.7836
754	1.8647	1.8562	1.8476	1.8389	1.8302	1.8215	1.8127	1.8039	1.7950	1.7860
755	1.8672	1.8586	1.8501	1.8414	1.8327	1.8240	1.8152	1.8063	1.7974	1.7884
756	1.8697	1.8611	1.8525	1.8439	1.8352	1.8264	1.8176	1.8088	1.7998	1.7909
757	1.8722	1.8636	1.8550	1.8464	1.8376	1.8289	1.8201	1.8112	1.8023	1.7933
758	1.8747	1.8661	1.8575	1.8488	1.8401	1.8313	1.8225	1.8137	1.8047	1.7957
759	1.8773	1.8686	1.8600	1.8513	1.8426	1.8338	1.8250	1.8161	1.8071	1.7981
760	1.8798	1.8711	1.8625	1.8538	1.8450	1.8363	1.8274	1.8186	1.8096	1.8005
761	1.8823	1.8736	1.8650	1.8563	1.8475	1.8387	1.8299	1.8210	1.8120	1.8030
762	1.8848	1.8761	1.8675	1.8587	1.8500	1.8412	1.8323	1.8234	1.8144	1.8054
763	1.8873	1.8786	1.8699	1.8612	1.8524	1.8436	1.8348	1.8259	1.8169	1.8078
764	1.8898	1.8811	1.8724	1.8637	1.8549	1.8461	1.8372	1.8283	1.8193	1.8102
765	1.8923	1.8836	1.8749	1.8662	1.8574	1.8485	1.8397	1.8307	1.8217	1.8127
766	1.8948	1.8861	1.8774	1.8687	1.8598	1.8510	1.8421	1.8332	1.8242	1.8151
767	1.8973	1.8886	1.8799	1.8711	1.8623	1.8535	1.8446	1.8356	1.8266	1.8175
768	1.8998	1.8911	1.8824	1.8736	1.8648	1.8559	1.8470	1.8381	1.8290	1.8199
769	1.9023	1.8936	1.8849	1.8761	1.8672	1.8584	1.8495	1.8405	1.8314	1.8224
770	1.9048	1.8961	1.8873	1.8786	1.8697	1.8608	1.8519	1.8429	1.8339	1.8248

TABLE 2

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	DEGRE C
1.6466	1.6380	1.6292	1.6204	1.6115	1.6024	1.5932	1.5840	1.5746	1.5650	1.5553	700
1.6490	1.6404	1.6316	1.6228	1.6138	1.6048	1.5956	1.5863	1.5769	1.5673	1.5577	701
1.6515	1.6428	1.6340	1.6252	1.6162	1.6071	1.5980	1.5887	1.5792	1.5697	1.5600	702
1.6539	1.6452	1.6364	1.6276	1.6186	1.6095	1.6003	1.5910	1.5816	1.5720	1.5623	703
1.6563	1.6476	1.6388	1.6299	1.6210	1.6119	1.6027	1.5934	1.5839	1.5744	1.5646	704
1.6587	1.6500	1.6412	1.6323	1.6234	1.6142	1.6050	1.5957	1.5863	1.5767	1.5670	705
1.6611	1.6524	1.6436	1.6347	1.6257	1.6166	1.6074	1.5981	1.5886	1.5790	1.5693	706
1.6635	1.6548	1.6460	1.6371	1.6281	1.6190	1.6098	1.6004	1.5910	1.5814	1.5716	707
1.6659	1.6572	1.6484	1.6395	1.6305	1.6214	1.6121	1.6028	1.5933	1.5837	1.5740	708
1.6684	1.6596	1.6508	1.6419	1.6329	1.6237	1.6145	1.6052	1.5957	1.5860	1.5763	709
1.6708	1.6620	1.6532	1.6443	1.6352	1.6261	1.6169	1.6075	1.5980	1.5884	1.5786	710
1.6732	1.6644	1.6556	1.6467	1.6376	1.6285	1.6192	1.6099	1.6004	1.5907	1.5810	711
1.6756	1.6668	1.6580	1.6490	1.6400	1.6308	1.6216	1.6122	1.6027	1.5931	1.5833	712
1.6780	1.6692	1.6604	1.6514	1.6424	1.6332	1.6239	1.6146	1.6051	1.5954	1.5856	713
1.6804	1.6716	1.6628	1.6538	1.6448	1.6356	1.6263	1.6169	1.6074	1.5977	1.5879	714
1.6828	1.6740	1.6652	1.6562	1.6471	1.6380	1.6287	1.6193	1.6097	1.6001	1.5903	715
1.6853	1.6764	1.6676	1.6586	1.6495	1.6403	1.6310	1.6216	1.6121	1.6024	1.5926	716
1.6877	1.6788	1.6700	1.6610	1.6519	1.6427	1.6334	1.6240	1.6144	1.6048	1.5949	717
1.6901	1.6813	1.6724	1.6634	1.6543	1.6451	1.6358	1.6263	1.6168	1.6071	1.5973	718
1.6925	1.6837	1.6748	1.6658	1.6567	1.6474	1.6381	1.6287	1.6191	1.6094	1.5996	719
1.6949	1.6861	1.6772	1.6682	1.6590	1.6498	1.6405	1.6310	1.6215	1.6118	1.6019	720
1.6973	1.6885	1.6796	1.6705	1.6614	1.6522	1.6428	1.6334	1.6238	1.6141	1.6042	721
1.6997	1.6909	1.6820	1.6729	1.6638	1.6545	1.6452	1.6358	1.6262	1.6164	1.6066	722
1.7021	1.6933	1.6844	1.6753	1.6662	1.6569	1.6476	1.6381	1.6285	1.6188	1.6089	723
1.7046	1.6957	1.6867	1.6777	1.6685	1.6593	1.6499	1.6405	1.6309	1.6211	1.6112	724
1.7070	1.6981	1.6891	1.6801	1.6709	1.6617	1.6523	1.6428	1.6332	1.6235	1.6136	725
1.7094	1.7005	1.6915	1.6825	1.6733	1.6640	1.6547	1.6452	1.6355	1.6258	1.6159	726
1.7118	1.7029	1.6939	1.6849	1.6757	1.6664	1.6570	1.6475	1.6379	1.6281	1.6182	727
1.7142	1.7053	1.6963	1.6873	1.6781	1.6688	1.6594	1.6499	1.6402	1.6305	1.6205	728
1.7166	1.7077	1.6987	1.6896	1.6804	1.6711	1.6618	1.6522	1.6426	1.6328	1.6229	729
1.7190	1.7101	1.7011	1.6920	1.6828	1.6735	1.6641	1.6546	1.6449	1.6351	1.6252	730
1.7214	1.7125	1.7035	1.6944	1.6852	1.6759	1.6665	1.6569	1.6473	1.6375	1.6275	731
1.7239	1.7149	1.7059	1.6968	1.6876	1.6783	1.6688	1.6593	1.6496	1.6398	1.6299	732
1.7263	1.7173	1.7083	1.6992	1.6900	1.6806	1.6712	1.6617	1.6520	1.6421	1.6322	733
1.7287	1.7197	1.7107	1.7016	1.6923	1.6830	1.6736	1.6640	1.6543	1.6445	1.6345	734
1.7311	1.7221	1.7131	1.7040	1.6947	1.6854	1.6759	1.6664	1.6567	1.6468	1.6368	735
1.7335	1.7245	1.7155	1.7063	1.6971	1.6877	1.6783	1.6687	1.6590	1.6492	1.6392	736
1.7359	1.7269	1.7179	1.7087	1.6995	1.6901	1.6806	1.6711	1.6613	1.6515	1.6415	737
1.7383	1.7294	1.7203	1.7111	1.7019	1.6925	1.6830	1.6734	1.6637	1.6538	1.6438	738
1.7408	1.7318	1.7227	1.7135	1.7042	1.6948	1.6854	1.6758	1.6660	1.6562	1.6462	739
1.7432	1.7342	1.7251	1.7159	1.7066	1.6972	1.6877	1.6781	1.6684	1.6585	1.6485	740
1.7456	1.7366	1.7275	1.7183	1.7090	1.6996	1.6901	1.6805	1.6707	1.6608	1.6508	741
1.7480	1.7390	1.7299	1.7207	1.7114	1.7020	1.6924	1.6828	1.6731	1.6632	1.6531	742
1.7504	1.7414	1.7323	1.7231	1.7137	1.7043	1.6948	1.6852	1.6754	1.6655	1.6555	743
1.7528	1.7438	1.7347	1.7255	1.7161	1.7067	1.6972	1.6875	1.6778	1.6679	1.6578	744
1.7552	1.7462	1.7371	1.7278	1.7185	1.7091	1.6995	1.6899	1.6801	1.6702	1.6601	745
1.7577	1.7486	1.7395	1.7302	1.7209	1.7114	1.7019	1.6922	1.6825	1.6725	1.6625	746
1.7601	1.7510	1.7419	1.7326	1.7233	1.7138	1.7043	1.6946	1.6848	1.6749	1.6648	747
1.7625	1.7534	1.7443	1.7350	1.7256	1.7162	1.7066	1.6970	1.6871	1.6772	1.6671	748
1.7649	1.7558	1.7467	1.7374	1.7280	1.7186	1.7090	1.6993	1.6895	1.6795	1.6695	749
1.7673	1.7582	1.7491	1.7398	1.7304	1.7209	1.7113	1.7017	1.6918	1.6819	1.6718	750
1.7697	1.7606	1.7515	1.7422	1.7328	1.7233	1.7137	1.7040	1.6942	1.6842	1.6741	751
1.7721	1.7630	1.7539	1.7446	1.7352	1.7257	1.7161	1.7064	1.6965	1.6866	1.6765	752
1.7745	1.7654	1.7562	1.7470	1.7375	1.7280	1.7184	1.7087	1.6989	1.6889	1.6788	753
1.7770	1.7678	1.7586	1.7493	1.7399	1.7304	1.7208	1.7111	1.7012	1.6912	1.6811	754
1.7794	1.7702	1.7610	1.7517	1.7423	1.7328	1.7232	1.7134	1.7036	1.6936	1.6834	755
1.7818	1.7726	1.7634	1.7541	1.7447	1.7352	1.7255	1.7158	1.7059	1.6959	1.6858	756
1.7842	1.7750	1.7658	1.7565	1.7471	1.7375	1.7279	1.7181	1.7083	1.6982	1.6881	757
1.7866	1.7774	1.7682	1.7589	1.7494	1.7399	1.7302	1.7205	1.7106	1.7006	1.6904	758
1.7890	1.7798	1.7706	1.7613	1.7518	1.7423	1.7326	1.7229	1.7129	1.7029	1.6928	759
1.7914	1.7822	1.7730	1.7637	1.7542	1.7446	1.7350	1.7252	1.7153	1.7053	1.6951	760
1.7939	1.7847	1.7754	1.7660	1.7566	1.7470	1.7373	1.7276	1.7176	1.7076	1.6974	761
1.7963	1.7871	1.7778	1.7684	1.7590	1.7494	1.7397	1.7299	1.7200	1.7099	1.6997	762
1.7987	1.7895	1.7802	1.7708	1.7613	1.7517	1.7421	1.7323	1.7223	1.7123	1.7021	763
1.8011	1.7919	1.7826	1.7732	1.7637	1.7541	1.7444	1.7346	1.7247	1.7146	1.7044	764
1.8035	1.7943	1.7850	1.7756	1.7661	1.7565	1.7468	1.7370	1.7270	1.7169	1.7067	765
1.8059	1.7967	1.7874	1.7780	1.7685	1.7589	1.7491	1.7393	1.7294	1.7193	1.7091	766
1.8083	1.7991	1.7898	1.7804	1.7709	1.7612	1.7515	1.7417	1.7317	1.7216	1.7114	767
1.8108	1.8015	1.7922	1.7828	1.7732	1.7636	1.7539	1.7440	1.7341	1.7239	1.7137	768
1.8132	1.8039	1.7946	1.7851	1.7756	1.7660	1.7562	1.7464	1.7364	1.7263	1.7160	769
1.8156	1.8063	1.7970	1.7875	1.7780	1.7683	1.7586	1.7487	1.7388	1.7286	1.7184	770

TABLE 3

DEGRE C	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
MM MG										
700	0.3931	0.3912	0.3891	0.3870	0.3849	0.3835	0.3820	0.3801	0.3782	0.3763
701	0.3937	0.3917	0.3897	0.3876	0.3855	0.3840	0.3826	0.3807	0.3788	0.3768
702	0.3943	0.3923	0.3903	0.3882	0.3861	0.3846	0.3831	0.3812	0.3793	0.3774
703	0.3948	0.3929	0.3909	0.3888	0.3867	0.3852	0.3837	0.3818	0.3799	0.3779
704	0.3954	0.3934	0.3915	0.3894	0.3873	0.3858	0.3842	0.3823	0.3804	0.3785
705	0.3960	0.3940	0.3920	0.3900	0.3879	0.3864	0.3848	0.3829	0.3810	0.3790
706	0.3965	0.3946	0.3926	0.3906	0.3885	0.3869	0.3854	0.3834	0.3815	0.3796
707	0.3971	0.3952	0.3932	0.3912	0.3891	0.3875	0.3859	0.3840	0.3821	0.3801
708	0.3977	0.3957	0.3938	0.3918	0.3897	0.3881	0.3865	0.3846	0.3826	0.3807
709	0.3982	0.3963	0.3944	0.3924	0.3903	0.3887	0.3870	0.3851	0.3832	0.3812
710	0.3988	0.3969	0.3949	0.3929	0.3909	0.3893	0.3876	0.3857	0.3837	0.3818
711	0.3994	0.3975	0.3955	0.3935	0.3915	0.3898	0.3881	0.3862	0.3843	0.3823
712	0.4000	0.3980	0.3961	0.3941	0.3922	0.3904	0.3887	0.3868	0.3848	0.3829
713	0.4005	0.3986	0.3967	0.3947	0.3928	0.3910	0.3892	0.3873	0.3854	0.3834
714	0.4011	0.3992	0.3973	0.3953	0.3934	0.3916	0.3898	0.3879	0.3859	0.3840
715	0.4017	0.3998	0.3978	0.3959	0.3940	0.3922	0.3903	0.3884	0.3865	0.3845
716	0.4022	0.4003	0.3984	0.3965	0.3946	0.3927	0.3909	0.3890	0.3870	0.3851
717	0.4028	0.4009	0.3990	0.3971	0.3952	0.3933	0.3915	0.3895	0.3876	0.3856
718	0.4034	0.4015	0.3996	0.3977	0.3958	0.3939	0.3920	0.3901	0.3881	0.3862
719	0.4039	0.4021	0.4002	0.3983	0.3964	0.3945	0.3926	0.3906	0.3887	0.3867
720	0.4045	0.4026	0.4007	0.3989	0.3970	0.3951	0.3931	0.3912	0.3892	0.3873
721	0.4051	0.4032	0.4013	0.3994	0.3975	0.3956	0.3937	0.3918	0.3898	0.3878
722	0.4056	0.4038	0.4019	0.4000	0.3981	0.3962	0.3942	0.3923	0.3904	0.3884
723	0.4062	0.4043	0.4025	0.4006	0.3986	0.3967	0.3948	0.3929	0.3909	0.3889
724	0.4068	0.4049	0.4030	0.4011	0.3992	0.3973	0.3954	0.3934	0.3915	0.3895
725	0.4073	0.4055	0.4036	0.4017	0.3998	0.3978	0.3959	0.3940	0.3920	0.3900
726	0.4079	0.4060	0.4042	0.4022	0.4003	0.3984	0.3965	0.3945	0.3926	0.3906
727	0.4085	0.4066	0.4047	0.4028	0.4009	0.3990	0.3970	0.3951	0.3931	0.3911
728	0.4090	0.4072	0.4053	0.4034	0.4015	0.3995	0.3976	0.3956	0.3937	0.3917
729	0.4096	0.4077	0.4058	0.4039	0.4020	0.4001	0.3981	0.3962	0.3942	0.3922
730	0.4102	0.4083	0.4064	0.4045	0.4026	0.4006	0.3987	0.3967	0.3948	0.3928
731	0.4108	0.4089	0.4070	0.4051	0.4031	0.4012	0.3993	0.3973	0.3953	0.3933
732	0.4113	0.4094	0.4075	0.4056	0.4037	0.4017	0.3998	0.3979	0.3959	0.3939
733	0.4119	0.4100	0.4081	0.4062	0.4042	0.4023	0.4004	0.3984	0.3964	0.3944
734	0.4125	0.4106	0.4087	0.4068	0.4048	0.4029	0.4009	0.3990	0.3970	0.3950
735	0.4130	0.4111	0.4092	0.4073	0.4054	0.4034	0.4015	0.3995	0.3975	0.3955
736	0.4136	0.4117	0.4098	0.4079	0.4059	0.4040	0.4020	0.4001	0.3981	0.3961
737	0.4142	0.4123	0.4104	0.4084	0.4065	0.4046	0.4026	0.4006	0.3986	0.3966
738	0.4148	0.4128	0.4109	0.4090	0.4071	0.4051	0.4032	0.4012	0.3992	0.3972
739	0.4153	0.4134	0.4115	0.4096	0.4076	0.4057	0.4037	0.4017	0.3997	0.3977
740	0.4159	0.4140	0.4120	0.4101	0.4082	0.4062	0.4043	0.4023	0.4003	0.3983
741	0.4164	0.4145	0.4126	0.4101	0.4087	0.4068	0.4048	0.4029	0.4008	0.3988
742	0.4170	0.4151	0.4132	0.4113	0.4093	0.4073	0.4054	0.4034	0.4014	0.3994
743	0.4176	0.4157	0.4137	0.4118	0.4099	0.4079	0.4059	0.4040	0.4020	0.4000
744	0.4181	0.4162	0.4143	0.4124	0.4104	0.4085	0.4065	0.4045	0.4025	0.4005
745	0.4187	0.4168	0.4149	0.4129	0.4110	0.4090	0.4070	0.4051	0.4031	0.4011
746	0.4193	0.4174	0.4154	0.4135	0.4115	0.4096	0.4076	0.4056	0.4036	0.4016
747	0.4199	0.4179	0.4160	0.4141	0.4121	0.4101	0.4081	0.4062	0.4042	0.4022
748	0.4204	0.4185	0.4166	0.4146	0.4127	0.4107	0.4087	0.4067	0.4047	0.4027
749	0.4210	0.4191	0.4171	0.4152	0.4132	0.4112	0.4093	0.4073	0.4053	0.4032
750	0.4216	0.4196	0.4177	0.4157	0.4138	0.4118	0.4098	0.4078	0.4058	0.4038
751	0.4221	0.4202	0.4183	0.4163	0.4143	0.4124	0.4104	0.4084	0.4064	0.4044
752	0.4227	0.4208	0.4188	0.4169	0.4149	0.4129	0.4110	0.4090	0.4069	0.4049
753	0.4233	0.4213	0.4194	0.4174	0.4155	0.4135	0.4115	0.4095	0.4075	0.4055
754	0.4239	0.4219	0.4200	0.4180	0.4160	0.4140	0.4120	0.4100	0.4080	0.4060
755	0.4244	0.4225	0.4205	0.4186	0.4166	0.4146	0.4126	0.4106	0.4086	0.4065
756	0.4250	0.4230	0.4211	0.4191	0.4171	0.4152	0.4132	0.4112	0.4091	0.4071
757	0.4256	0.4236	0.4216	0.4197	0.4177	0.4157	0.4137	0.4117	0.4097	0.4076
758	0.4261	0.4242	0.4222	0.4203	0.4183	0.4163	0.4143	0.4123	0.4103	0.4082
759	0.4267	0.4247	0.4228	0.4208	0.4188	0.4168	0.4148	0.4128	0.4108	0.4088
760	0.4273	0.4253	0.4234	0.4214	0.4194	0.4174	0.4154	0.4134	0.4113	0.4093
761	0.4278	0.4259	0.4239	0.4219	0.4200	0.4179	0.4159	0.4139	0.4119	0.4099
762	0.4284	0.4264	0.4245	0.4225	0.4205	0.4185	0.4165	0.4145	0.4125	0.4104
763	0.4290	0.4270	0.4250	0.4231	0.4211	0.4191	0.4171	0.4150	0.4130	0.4110
764	0.4296	0.4276	0.4256	0.4236	0.4216	0.4196	0.4176	0.4156	0.4136	0.4115
765	0.4301	0.4281	0.4262	0.4242	0.4222	0.4202	0.4182	0.4162	0.4141	0.4120
766	0.4307	0.4287	0.4267	0.4248	0.4228	0.4208	0.4187	0.4167	0.4147	0.4126
767	0.4313	0.4293	0.4273	0.4253	0.4233	0.4213	0.4193	0.4173	0.4152	0.4132
768	0.4318	0.4299	0.4279	0.4259	0.4239	0.4219	0.4198	0.4178	0.4158	0.4137
769	0.4324	0.4304	0.4284	0.4264	0.4244	0.4224	0.4204	0.4184	0.4163	0.4143
770	0.4330	0.4310	0.4290	0.4270	0.4250	0.4230	0.4210	0.4189	0.4169	0.4148

TABLE 3

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	DEGRE C
0.3743	0.3723	0.3702	0.3683	0.3664	0.3643	0.3622	0.3601	0.3580	0.3559	0.3537	700
0.3749	0.3728	0.3707	0.3688	0.3669	0.3649	0.3628	0.3607	0.3586	0.3564	0.3542	701
0.3754	0.3734	0.3713	0.3694	0.3675	0.3654	0.3633	0.3612	0.3591	0.3569	0.3547	702
0.3760	0.3739	0.3718	0.3699	0.3680	0.3659	0.3639	0.3617	0.3596	0.3575	0.3553	703
0.3765	0.3745	0.3724	0.3705	0.3685	0.3665	0.3644	0.3623	0.3602	0.3580	0.3558	704
0.3771	0.3750	0.3729	0.3710	0.3691	0.3670	0.3649	0.3628	0.3607	0.3585	0.3563	705
0.3776	0.3756	0.3735	0.3716	0.3696	0.3675	0.3655	0.3634	0.3612	0.3590	0.3569	706
0.3782	0.3761	0.3741	0.3721	0.3702	0.3681	0.3660	0.3639	0.3618	0.3596	0.3574	707
0.3787	0.3767	0.3746	0.3727	0.3707	0.3686	0.3665	0.3644	0.3623	0.3601	0.3579	708
0.3793	0.3772	0.3752	0.3732	0.3713	0.3692	0.3671	0.3650	0.3628	0.3606	0.3585	709
0.3798	0.3778	0.3757	0.3738	0.3718	0.3697	0.3676	0.3655	0.3633	0.3612	0.3590	710
0.3804	0.3783	0.3763	0.3743	0.3723	0.3702	0.3682	0.3660	0.3639	0.3617	0.3595	711
0.3809	0.3789	0.3768	0.3749	0.3729	0.3708	0.3687	0.3666	0.3644	0.3622	0.3600	712
0.3815	0.3794	0.3774	0.3754	0.3734	0.3713	0.3692	0.3671	0.3649	0.3628	0.3606	713
0.3820	0.3800	0.3779	0.3760	0.3739	0.3719	0.3698	0.3676	0.3655	0.3633	0.3611	714
0.3826	0.3805	0.3785	0.3765	0.3745	0.3724	0.3703	0.3682	0.3660	0.3638	0.3616	715
0.3831	0.3811	0.3791	0.3771	0.3750	0.3729	0.3708	0.3687	0.3665	0.3644	0.3621	716
0.3837	0.3816	0.3796	0.3776	0.3756	0.3735	0.3714	0.3693	0.3671	0.3649	0.3624	717
0.3842	0.3822	0.3802	0.3781	0.3761	0.3740	0.3719	0.3698	0.3676	0.3654	0.3627	718
0.3848	0.3827	0.3807	0.3787	0.3767	0.3746	0.3725	0.3703	0.3681	0.3659	0.3635	719
0.3853	0.3833	0.3813	0.3793	0.3772	0.3751	0.3730	0.3709	0.3687	0.3665	0.3642	720
0.3859	0.3839	0.3818	0.3798	0.3777	0.3756	0.3735	0.3714	0.3692	0.3670	0.3648	721
0.3864	0.3844	0.3824	0.3803	0.3783	0.3762	0.3741	0.3719	0.3698	0.3675	0.3653	722
0.3870	0.3850	0.3829	0.3809	0.3788	0.3767	0.3746	0.3725	0.3703	0.3681	0.3658	723
0.3875	0.3855	0.3835	0.3814	0.3793	0.3773	0.3751	0.3730	0.3708	0.3686	0.3664	724
0.3881	0.3861	0.3840	0.3820	0.3799	0.3778	0.3757	0.3735	0.3714	0.3691	0.3669	725
0.3886	0.3866	0.3846	0.3825	0.3804	0.3783	0.3762	0.3741	0.3719	0.3697	0.3674	726
0.3891	0.3871	0.3851	0.3831	0.3810	0.3789	0.3767	0.3746	0.3724	0.3702	0.3679	727
0.3897	0.3877	0.3856	0.3836	0.3815	0.3794	0.3773	0.3751	0.3730	0.3707	0.3685	728
0.3902	0.3882	0.3862	0.3841	0.3821	0.3800	0.3778	0.3758	0.3735	0.3713	0.3690	729
0.3908	0.3888	0.3867	0.3847	0.3826	0.3805	0.3783	0.3764	0.3740	0.3718	0.3695	730
0.3913	0.3893	0.3873	0.3852	0.3831	0.3810	0.3789	0.3769	0.3746	0.3723	0.3701	731
0.3919	0.3899	0.3878	0.3858	0.3837	0.3816	0.3794	0.3773	0.3751	0.3728	0.3706	732
0.3924	0.3904	0.3884	0.3863	0.3842	0.3821	0.3800	0.3778	0.3756	0.3734	0.3711	733
0.3930	0.3910	0.3889	0.3869	0.3848	0.3826	0.3805	0.3783	0.3761	0.3739	0.3716	734
0.3935	0.3915	0.3895	0.3874	0.3853	0.3832	0.3810	0.3789	0.3767	0.3744	0.3722	735
0.3941	0.3921	0.3900	0.3879	0.3859	0.3837	0.3816	0.3794	0.3772	0.3750	0.3727	736
0.3946	0.3926	0.3906	0.3885	0.3864	0.3843	0.3821	0.3800	0.3777	0.3755	0.3732	737
0.3952	0.3932	0.3911	0.3890	0.3869	0.3848	0.3826	0.3805	0.3783	0.3761	0.3738	738
0.3957	0.3937	0.3917	0.3896	0.3875	0.3853	0.3832	0.3810	0.3788	0.3766	0.3743	739
0.3963	0.3942	0.3922	0.3901	0.3880	0.3859	0.3837	0.3815	0.3793	0.3771	0.3748	740
0.3968	0.3948	0.3927	0.3907	0.3886	0.3864	0.3843	0.3821	0.3799	0.3776	0.3754	741
0.3974	0.3953	0.3933	0.3912	0.3891	0.3870	0.3848	0.3826	0.3804	0.3782	0.3759	742
0.3979	0.3959	0.3938	0.3917	0.3896	0.3875	0.3853	0.3832	0.3810	0.3787	0.3764	743
0.3985	0.3964	0.3944	0.3923	0.3902	0.3880	0.3859	0.3837	0.3815	0.3792	0.3770	744
0.3990	0.3970	0.3949	0.3928	0.3907	0.3886	0.3864	0.3842	0.3820	0.3798	0.3775	745
0.3996	0.3975	0.3954	0.3934	0.3913	0.3891	0.3869	0.3848	0.3825	0.3803	0.3780	746
0.4001	0.3981	0.3960	0.3939	0.3918	0.3897	0.3875	0.3853	0.3831	0.3808	0.3785	747
0.4007	0.3986	0.3965	0.3944	0.3923	0.3902	0.3880	0.3858	0.3836	0.3813	0.3791	748
0.4012	0.3992	0.3971	0.3950	0.3929	0.3907	0.3885	0.3864	0.3841	0.3819	0.3796	749
0.4017	0.3997	0.3976	0.3955	0.3934	0.3913	0.3891	0.3869	0.3847	0.3824	0.3801	750
0.4023	0.4002	0.3982	0.3961	0.3940	0.3918	0.3896	0.3874	0.3852	0.3830	0.3807	751
0.4029	0.4008	0.3987	0.3966	0.3945	0.3924	0.3902	0.3880	0.3857	0.3835	0.3812	752
0.4034	0.4013	0.3993	0.3972	0.3950	0.3929	0.3907	0.3885	0.3863	0.3840	0.3817	753
0.4040	0.4019	0.3998	0.3977	0.3956	0.3934	0.3912	0.3890	0.3868	0.3845	0.3822	754
0.4045	0.4024	0.4004	0.3982	0.3961	0.3940	0.3918	0.3896	0.3873	0.3851	0.3828	755
0.4050	0.4030	0.4009	0.3988	0.3967	0.3945	0.3923	0.3901	0.3879	0.3856	0.3833	756
0.4056	0.4035	0.4015	0.3993	0.3972	0.3950	0.3929	0.3906	0.3884	0.3861	0.3838	757
0.4062	0.4041	0.4020	0.3999	0.3977	0.3956	0.3934	0.3912	0.3889	0.3867	0.3844	758
0.4067	0.4046	0.4025	0.4004	0.3983	0.3961	0.3939	0.3917	0.3895	0.3872	0.3849	759
0.4073	0.4052	0.4031	0.4010	0.3988	0.3967	0.3945	0.3922	0.3900	0.3877	0.3854	760
0.4078	0.4057	0.4036	0.4015	0.3994	0.3972	0.3950	0.3928	0.3905	0.3883	0.3860	761
0.4083	0.4063	0.4042	0.4020	0.3999	0.3977	0.3955	0.3933	0.3911	0.3888	0.3865	762
0.4089	0.4068	0.4047	0.4026	0.4004	0.3983	0.3961	0.3938	0.3916	0.3893	0.3870	763
0.4094	0.4074	0.4052	0.4031	0.4010	0.3988	0.3966	0.3944	0.3921	0.3899	0.3875	764
0.4100	0.4079	0.4058	0.4037	0.4015	0.3993	0.3971	0.3949	0.3927	0.3904	0.3881	765
0.4105	0.4085	0.4063	0.4042	0.4021	0.3999	0.3977	0.3954	0.3932	0.3909	0.3886	766
0.4111	0.4090	0.4069	0.4048	0.4026	0.4004	0.3982	0.3960	0.3937	0.3914	0.3891	767
0.4116	0.4095	0.4074	0.4053	0.4031	0.4010	0.3987	0.3965	0.3943	0.3920	0.3896	768
0.4122	0.4101	0.4080	0.4058	0.4037	0.4015	0.3993	0.3971	0.3948	0.3925	0.3902	769
0.4127	0.4106	0.4085	0.4064	0.4042	0.4020	0.3998	0.3976	0.3953	0.3930	0.3907	770

