**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles

**Herausgeber:** Société Vaudoise des Sciences Naturelles

**Band:** 61 (1940-1941)

**Heft:** 256

**Artikel:** Méthode et appareil pour déterminer la compressibilité des corps fortement compressibles : application à la mesure de la compressibilité du grain

**Autor:** Mercier, Pierre

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-272995

**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:** 12.07.2025

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

# Méthode et appareil pour déterminer la compressibilité des corps fortement compressibles

## Application à la mesure de la compressibilité du grain

PAR

**Pierre MERCIER**

(*Séance du 4 juin 1941.*)

---

SOMMAIRE. — INTRODUCTION. — I. MÉTHODE. — II. APPAREIL. — III. APPLICATIONS. — IV. RÉSUMÉ.

## INTRODUCTION

Au cours de recherches [1] effectuées avec M. G. Joyet concernant l'action du champ électrique sur la croissance des plantes, nous avons cherché à mettre en évidence les différences que peuvent présenter des cultures de blé soumises à des conditions électriques particulières.

Outre certaines mesures physiques usuelles effectuées sur le produit de la récolte, telles que l'humidité, la densité du grain, etc., il m'a paru intéressant d'étudier sa compressibilité.

A ma connaissance, cette mesure n'est pas pratiquée et l'on se borne généralement à des appréciations qualitatives sur la dureté du tégument du grain et sa résistance à l'écrasement.

C'est dans ce but que j'ai mis au point une méthode permettant de déterminer la compressibilité des corps fortement compressibles.

[1] Les résultats de ces recherches seront publiés prochainement.

## I. *Méthode.*

Pour déterminer la compressibilité d'un corps G, il est nécessaire de connaître la réduction de volume $\Delta V$ qu'il subit pour un accroissement de pression $\Delta P$.

Dans un but pratique [1], je définirai par compressibilité C d'un corps G la réduction de volume exprimée en pour-cent que subit le corps soumis à un accroissement de pression de 1 kg par cm², la pression initiale étant la pression atmosphérique. Nous aurons:

$$C = \frac{\Delta V}{V \Delta P} 100 \qquad (1)$$

Dans cette équation $\Delta P$ est exprimé en kg/cm².

Le problème sera résolu si l'on connaît, premièrement, le volume $V_G$ occupé par le corps à la pression atmosphérique et secondement le volume $V''_G$ occupé par le corps soumis à un accroissement de pression $\Delta P$.

### *Détermination du volume* $V_G$.

Le volume $V_G$ occupé par le corps à la pression ordinaire, sera déterminé au moyen d'une mesure de densité par une méthode usuelle, celle du flacon par exemple, dont nous dirons quelques mots dans le paragraphe relatif aux applications.

La seconde partie du problème est résolue par la méthode décrite plus loin. Le moyen de compression choisi étant l'air comprimé et la loi de Mariotte intervenant dans les calculs, il convient tout d'abord de préciser avec quelle approximation cette loi est applicable.

### *Validité de la loi de Mariotte.*

La compressibilité de l'air a fait l'objet de nombreuses études. Nous nous bornerons ici à citer les expériences de

[1] Nous ne faisons pas usage ici de la notion de module de compressibilité défini par l'équation : $c = \Delta P : \frac{\Delta V}{V}$.

Witkowski [1] qui donne les valeurs du produit PV à la température de 16°, très voisine de celle de nos expériences. On en déduit que, pour un accroissement de 1 atm. à partir de la pression atmosphérique, le volume occupé par une masse d'air à cette température est inférieur de 3,9 $10^{-4}$ à celui calculé par la loi de Mariotte.

Dans les calculs qui suivent, nous supposerons que la loi de Mariotte est applicable sans introduire de corrections. Ce point de vue est justifié par le fait que les pressions utilisées restent inférieures ou égales à 2 atm. Si la précision des mesures le nécessite, il sera toujours possible d'appliquer au résultat une correction pour tenir compte de cet écart.

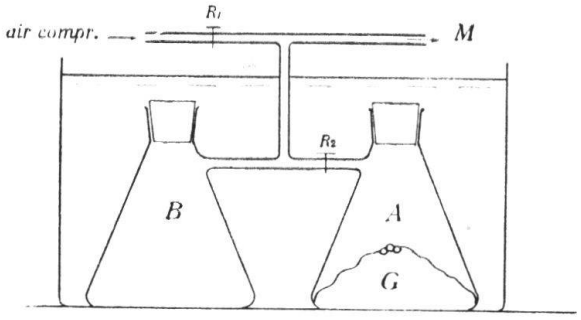


FIG. 1. — *Schéma de l'appareil pour déterminer la compressibilité.*

*Détermination du volume* $V''_G$.

Considérons deux récipients indéformables A et B représentés schématiquement sur la fig. 1.

Ces récipients sont réunis entre eux ainsi qu'à une bouteille d'air comprimé et à un manomètre à mercure à air libre M, par une tubulure en double T munie de deux robinets $R_1$ et $R_2$. L'appareil est placé dans une cuve à température constante.

Soit $V_B$ le volume du vase B, y compris celui des tubulures délimitées par les robinets $R_1$ et $R_2$ et le manomètre. Soit $V_A$ le volume du vase A, y compris celui de la tubulure limitée par le robinet $R_2$. Soit $V_G$ le volume du corps G qui est introduit dans le vase A.

*Première opération.*

La bouteille d'air comprimé étant déconnectée, on ouvre

[1] Recueil de constantes de la Société Française de Physique 56. p. 200.

les robinets $R_1$ et $R_2$. L'air contenu dans l'appareil est alors à la pression atmosphérique H qu'on lit sur un baromètre à mercure.

*Deuxième opération.*

On isole le récipient A en fermant le robinet $R_2$. On connecte l'air comprimé et l'on établit dans le volume B une pression $H = h' + H$. La hauteur $h'$ est l'accroissement de pression lu sur le manomètre à air libre après avoir fermé le robinet $R_1$.

Supposons un instant la masse d'air contenue dans le vase A introduite dans le récipient B. Cette introduction aurait pour effet d'augmenter la pression dans le récipient B et le produit PV aurait pour valeur

$$(2) \qquad \left(H' + H\,\frac{V_A - V_G}{V_B}\right) V_B$$

*Troisième opération.*

On ouvre lentement le robinet $R_2$. On obtient une pression uniforme $H'' = h'' + H$ dans tout l'appareil. La hauteur $h''$ est lue sur le manomètre à air libre. Le produit PV a pour valeur

$$(3) \qquad H''(V_A - V''_G + V_B)$$

Nous supposons ici le corps G compressible et désignons par $V''_G$ le volume qu'il occupe à la pression $H''$.

*Calculs.*

D'après la loi de Mariotte, les produits PV représentés par les expressions (2) et (3) sont égaux. Ils correspondent à deux états d'une même masse d'air à température constante. On a

$$(4) \qquad \left(H' + H\,\frac{V_A - V_G}{V_B}\right) V_B = H''(V_A - V''_G + V_B)$$

D'où l'on tire facilement la valeur de $V''_G$.

$$(5) \qquad V''_G = \frac{V_G H + V_A (H'' - H) - V_B (H' - H'')}{H''}$$

Dans cette expression, toutes les quantités sont connues ou peuvent être déterminées sans difficulté. Un procédé pour déterminer le volume $V_B$ sera indiqué plus loin.

*Cas des corps incompressibles.*

Si le corps G peut être considéré comme incompressible, nous pourrons calculer son volume $V_G$ en remplaçant dans (5) $V''_G$ par $V_G$.

$$V_G = \frac{(V_A + V_B)H'' - V_A H - V_B H'}{H'' - H} \tag{6}$$

Cette formule permet de contrôler la valeur de la méthode. Il sera facile de vérifier si la densité d'un tel corps, mesurée par la méthode manométrique, correspond avec la valeur trouvée par les méthodes usuelles.

*Sensibilité de la méthode.*

Pour simplifier, nous considérons le cas des corps incompressibles. La formule (6) peut se mettre sous la forme

$$H'' = \frac{V_A H + V_B H' - V_G H}{V_A + V_B - V_G} \tag{7}$$

Dans cette équation, il est possible de considérer H et H′ comme des constantes. H est la pression atmosphérique qui ne varie pas sensiblement au cours d'une expérience et H′ la pression initiale dans le récipient B, qui est choisie par l'expérimentateur. Dans ces conditions, nous pouvons calculer comment varie H″ en fonction de $V_G$. Il suffit de prendre la dérivée de H″ par rapport à $V_G$.

On obtient

$$\frac{dH''}{dV_G} = \frac{V_B(H' - H)}{(V_A + V_B - V_G)^2} \tag{8}$$

On voit que la sensibilité est proportionnelle à l'accroissement de pression initial de l'air dans le récipient B. Il y a donc intérêt à travailler avec une valeur de H′ aussi grande que possible. On constate en outre que la sensibilité est maximum et a pour valeur $\frac{H' - H}{V_B}$ quand le corps G occupe le volume entier du récipient A. En pratique, cette condition n'est pas réalisable, mais il est avantageux que le corps G occupe au moins la moitié du volume $V_A$.

## II. *Appareil.*

L'appareil (fig. 2), très simple, comporte deux flacons à filtration en verre épais pouvant supporter une forte pression. Les bouchons de caoutchouc sont vaselinés et forcés dans le col des flacons au moyen d'étriers à vis et le niveau des

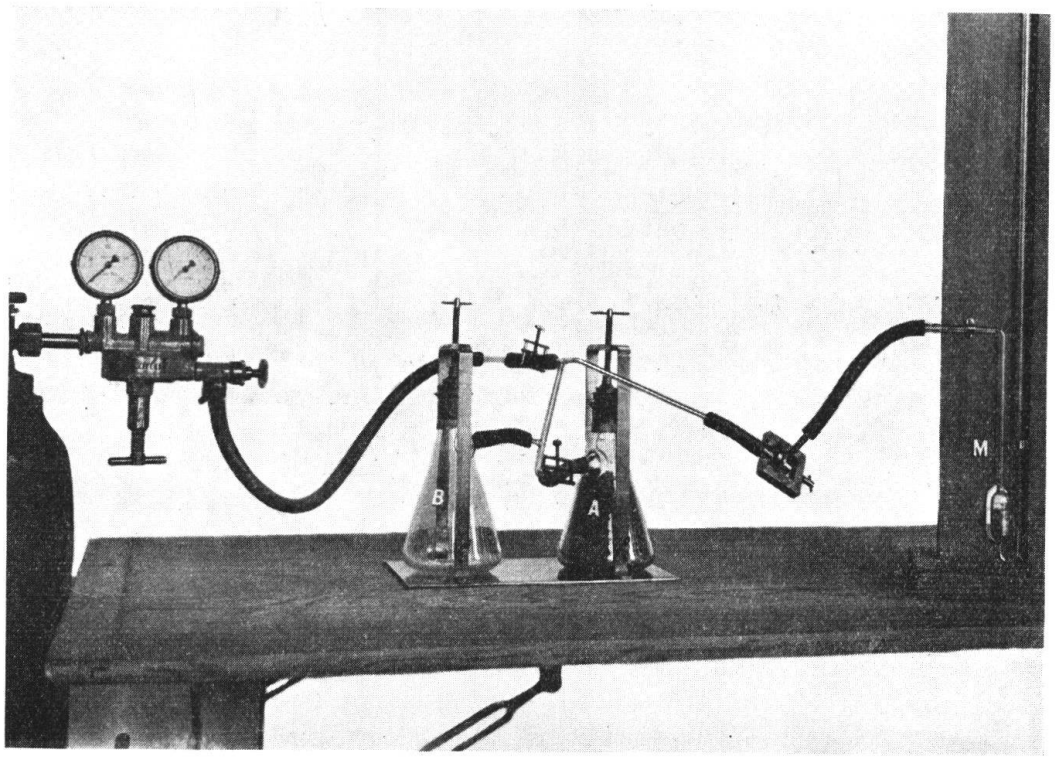


FIG. 2. — *Appareil pour déterminer la compressibilité des corps fortement compressibles.* Pour raison de visibilité, le bac dans lequel l'appareil doit être immergé n'est pas représenté. Entre l'appareil et le manomètre M, joint démontable.

bouchons peut être réglé exactement. Les tubulures sont en tube capillaire de 2 mm de diamètre intérieur. Les robinets qui ne résisteraient pas à la pression, sont remplacés par des segments de tubes de caoutchouc de 5 mm diam. int. et 16 mm diam. ext. Une fermeture hermétique est obtenue au moyen de pinces à vis. Pour réaliser une température uniforme et constante, l'appareil est immergé dans un bac contenant de l'eau. L'air comprimé du commerce est admis dans l'appareil

au moyen d'un détendeur. Le manomètre à air libre est en tube capillaire de 2 mm de diamètre intérieur; la colonne manométrique a 80 cm de hauteur. Il est étalonné préalablement et les lectures se font au 1/10 mm. Tout l'appareil est parfaitement étanche et ne présente aucune fuite. Le volume du vase A est de 604,5 $cm^3$ à $15^0$. Il est déterminé en pesant exactement son contenu en eau. Le volume V qui comporte une tubulure assez longue, peut être calculé en faisant une expérience à vide. Si dans la formule (6) on fait $V_G = 0$, on obtient pour $V_B$

$$V_B = V_A \frac{H'' - H}{H' - H''}$$

Le volume de $V_B$ calculé au moyen de cette expérience a été trouvé égal à 716 $cm^3$ à $15^0$.

## III. *Applications.*

*Détermination de la densité d'un corps incompressible.*

Pour éprouver la valeur de la méthode, j'ai déterminé par la méthode manométrique la densité moyenne d'un lot de perles de verre pesant 800 grammes. Le verre peut en effet être considéré comme incompressible [1] quand il est soumis à un accroissement de pression de l'ordre d'un kilo par $cm^2$.

La moyenne de quatre déterminations effectuées à $20^0$ par la méthode manométrique (6) m'a donné pour la densité la valeur

$$d = 2{,}673 \pm 0{,}002$$

La densité du même lot a été mesurée à $20^0$ par la méthode du flacon et a été trouvée égale à

$$d = 2{,}671 \pm 0{,}001$$

La concordance peut être considérée comme satisfaisante. L'écart est dû en partie aux erreurs expérimentales et en partie

[1] La réduction de volume subie par une masse de verre pesant 800 gr. soumise à un accroissement de pression de 1 $kg/cm^2$ est inférieure à 1 $mm^3$.

au fait qu'aucune correction tenant compte de ce que la loi de Mariotte n'est pas rigoureusement applicable, n'a été introduite dans les calculs.

*Détermination de la compressibilité du grain.*

Le grain étudié est du froment récolté en 1939. Il provient de 10 parcelles cultivées à la Station fédérale [1] d'essais et de contrôle de semences à Lausanne et porte la désignation: Mont-Calme 245.

Comme nous l'avons dit au début, nous voulons calculer le coefficient C défini par l'équation (1). Dans cette équation V doit être remplacé par $V_G$ et $\Delta V$ par $V_G$-$V''_G$. Les pressions étant mesurées en hauteurs de mercure, $\Delta P$ sera remplacé par

$$\Delta P = \frac{h''}{h} \text{ kg/cm}^2$$

$h''$ étant l'accroissement de pression auquel le corps est soumis et $h$ la hauteur d'une colonne de mercure exerçant une pression de 1 kg/cm² à la température choisie pour les expériences.

En opérant ces substitutions, on a pour C

$$C = \frac{(V_G - V''_G)\, h}{V_G\, h''}\, 100 \qquad (9)$$

Les différentes quantités figurant dans cette expression sont obtenues comme suit:

*Détermination du volume* $V_G$.

Dans le cas du grain le volume $V_G$ à la pression atmosphérique H peut être déterminé sans difficulté par une mesure de densité effectuée par la méthode du flacon. On utilise comme liquide le pétrole. Dans le but de réduire les fluctuations qui sont faibles, on a opéré sur des échantillons de 20 gr au moins et les valeurs indiquées pour la densité $d$ sont le résultat de moyennes. Les volumes $V_G$ correspondent à un poids de 450 gr qui est la quantité de grain que nous avons utilisée pour déterminer la compressibilité par la méthode manométrique.

[1] J'exprime mes remerciements à M. G. Bolens, directeur, qui a mis le terrain nécessaire à notre disposition et qui de toutes manières a facilité nos essais.

*Détermination du volume* $V''_G$ *et des autres quantités.*

$V''_G$ est le volume occupé par le grain sous une pression $H'' = h'' + H$. Sa valeur résulte des mesures effectuées par la méthode manométrique. Elle est calculée au moyen de l'équation (5). On se rappellera que $H' = h' + H$. Les expériences ayant été effectuées à 15°, la hauteur $h$ de mercure correspondant à une pression de 1 kg/cm² est égale à 73,754 cm. La pression atmosphérique était $H = 72{,}04$ cm de mercure à cette même température.

Les quantités intervenant dans le calcul de C, la valeur de ce coefficient pour les différents échantillons et les densités $d$ et $d''$ du grain aux pressions H et H″ sont données dans le tableau suivant:

| N° | $d$ | $d''$ | $V_G$ cm³ | $V''_G$ cm³ | $h'$ cm | $h''$ cm | C % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,378 | 1,393 | 326,6 | 323,0 | 76,05 | 54,33 | 1,47 |
| 2 | 1,374 | 1,390 | 327,5 | 323,6 | 76,05 | 54,35 | 1,60 |
| 3 | 1,370 | 1,387 | 328,5 | 324,4 | 76,05 | 54,36 | 1,71 |
| 4 | 1,374 | 1,390 | 327,5 | 323,7 | 76,04 | 54,33 | 1,57 |
| 5 | 1,373 | 1,391 | 327,7 | 323,5 | 76,02 | 54,29 | 1,74 |
| 6 | 1,378 | 1,394 | 326,6 | 322,8 | 76,04 | 54,30 | 1,58 |
| 7 | 1,374 | 1,391 | 327,5 | 323,5 | 76,03 | 54,31 | 1,66 |
| 8 | 1,379 | 1,396 | 326,3 | 322,2 | 76,02 | 54,23 | 1,73 |
| 9 | 1,370 | 1,391 | 328,5 | 323,5 | 76,03 | 54,24 | 2,07 |
| 10 | 1,381 | 1,397 | 325,8 | 322,1 | 76,06 | 54,26 | 1,56 |

Nous voyons que la compressibilité du grain provenant des différentes parcelles est comprise entre 1,47 et 2,07 %. L'erreur probable sur la valeur de C est inférieure à $\pm 0{,}05$.

On voit par ces quelques exemples que la compressibilité du grain peut présenter pour une même variété des différences notables qui paraissent dues aux conditions de culture différentes.

## IV. *Résumé.*

Une méthode utilisant l'air comprimé a été décrite pour étudier la compressibilité des corps fortement compressibles, tels que le grain. Un appareil a été construit et la valeur de la méthode a été contrôlée en déterminant la densité d'un corps (verre) qui peut être considéré comme incompressible dans le domaine de compression utilisé. Des essais effectués sur 10 échantillons de grain appartenant à la variété Mont-Calme 245 et provenant de parcelles différentes, ont montré que la réduction de volume subie par le grain pour un accroissement de pression de 1 kg/cm$^2$ est de l'ordre de 1,5 à 2 %.