

Commande : 16276 du 29/03/2021
Purchase Order

CERTIFICAT D'ETALONNAGE CALIBRATION CERTIFICATE

N° P211550 / 4

DELIVRE A : **AREMECA**
ISSUED FOR
rue Marc Seguin
Zone Industrielle Sud
41100 VENDOME

INSTRUMENT ETALONNE
CALIBRATED INSTRUMENT

Désignation : **BALANCE DE PRESSION**
Designation : **PRESSURE BALANCE**

Constructeur : **AREMECA**
Manufacturer :

Type : **BH3-5000B**
Type :

N° de série : **1235/-**

Serial number :

N° d'identification :

Identification number :

Ce certificat comprend 17 pages
This certificate includes pages

Date d'émission : **22 avril 2021**

Date of issue :

LE RESPONSABLE DU LABORATOIRE PRESSION-VIDE
THE HEAD OF THE PRESSURE AND VACUUM LABORATORY



Djilali BENTOUATI



Accréditation

N° 2-37

Portée disponible
sur www.cofrac.fr

La reproduction de ce certificat n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral
This certificate may not be reproduced other than in full by photographic process

333HP0502-01_Bal section rév. C

(IN THE EVENT OF ANY DOUBT ARISING, THE ORIGINAL DOCUMENT IN FRENCH APPLIES)

CALIBRATION OF A PRESSURE BALANCE

1 - IDENTIFICATION

The characteristics of the pressure balance calibrated are as follows:

| | | |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------|
| - Manufacturer | : AREMECA | |
| - Model | : BH3-5000B | N° : 1235 |
| - Serial number of the piston | : - | |
| - Serial number of the cylinder | : - | |
| - Measured pressure | : gauge | |
| - Range | : from 40 to 5000 bar | |
| - Set of masses | : engraved in pressure unit | N° : 1235 |

(Calibration certificate N° P211550/2)

2 - CALIBRATION METHOD

The calibration consists of determining the effective area of the piston-cylinder assembly, and the uncertainty of that effective area. Then, from these results, the repeatability and the residuals from the best fit are determined in the whole range by comparing the pressure measured by the balance calculated by using the effective area of the piston-cylinder assembly determined by the calibration to the pressure measured by the standard.

The pressure balance is loaded with the set of masses N° 1235 associated to it. The uncertainty of this set of masses is

$$1,5 \times 10^{-5} \times M.$$

The calibration is realized by direct comparison with the pressure balance N° 3785 / 19055.

The uncertainty of the pressure measured by this standard in the calibration conditions is
(700 Pa + 8,0 x 10⁻⁵ x p).

This calibration certificate guarantees the traceability of calibration measurements to the International System of Units (SI).

The expanded uncertainties mentioned are those corresponding to twice the combined standard uncertainty which gives a level of confidence of approximately 95%.

3 - CONDITIONS OF THE CALIBRATION

The conditions of the calibration are the following:

| | |
|------------------------|------------------------------|
| - Working fluid | : oil (sebacat) |
| - Atmospheric pressure | : 1021 hPa |
| - Temperature lab. | : (20 ± 1) °C |
| - Humidity | : (55 ± 20) % HR |
| - Gravity | : 9,809273 m.s ⁻² |
| - Reference level | : marked by the manufacturer |

ETALONNAGE D'UNE BALANCE DE PRESSION

1 - IDENTIFICATION

Les caractéristiques de la balance de pression à étalonner sont les suivantes :

| | | |
|----------------------|------------------------------|-----------|
| - Constructeur | : AREMECA | |
| - Type | : BH3-5000B | N° : 1235 |
| - Numéro du piston | : - | |
| - Numéro du cylindre | : - | |
| - Pression mesurée | : relative | |
| - Etendue de mesure | : de 40 à 5000 bar | |
| - Jeu de masses | : gravé en unité de pression | N° : 1235 |

(Certificat d'étalonnage N° P211550/2)

2 - METHODE D'ETALONNAGE

L'étalonnage consiste à déterminer la section effective de l'ensemble piston-cylindre, et l'incertitude sur cette section effective. Ensuite, à partir de ces résultats, la répétabilité et les résidus de modélisation sont déterminés sur toute l'étendue de mesure en comparant la pression mesurée par la balance de pression, calculée en utilisant la section effective de l'ensemble piston-cylindre déterminée au cours de l'étalonnage, à la pression mesurée par l'étalon.

La balance de pression est chargée à l'aide du jeu de masses N° 1235 qui lui est associé. L'incertitude de ce jeu de masses est de

$$1,5 \times 10^{-5} \times M.$$

L'étalonnage est effectué par comparaison directe avec la balance de pression N° 3785 / 19055.

L'incertitude sur la mesure de la pression de cet étalon dans les conditions de l'étalonnage est de
(700 Pa + $8,0 \times 10^{-5} \times p$)

Ce certificat d'étalonnage garantit le raccordement des résultats d'étalonnage au Système international d'unités (SI).

Les incertitudes élargies mentionnées sont celles correspondant à deux fois l'incertitude type composée, de telle sorte que la probabilité de couverture corresponde approximativement à 95%.

3 - CONDITIONS DE L'ETALONNAGE

L'étalonnage est effectué dans les conditions suivantes :

| | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| - Fluide de travail | : huile (sebacate) |
| - Pression atmosphérique | : 1021 hPa |
| - Température ambiante | : (20 ± 1) °C |
| - Humidité ambiante | : (55 ± 20) % HR |
| - Accélération de la pesanteur | : 9,809273 m.s ⁻² |
| - Niveau de référence | : matérialisé par le constructeur |

4 - DETERMINATION OF THE PRESSURE MEASURED BY THE BALANCE

When the temperature of the pressure balance had stabilized, the following procedure was used:

- Verification of the mobility of the assembly
- Connection with the standard
- Calibration at 6 pressure points distributed on all the range; this calibration is repeated 3 times (by increasing or decreasing pressure).

The pressure measured by a pressure balance at its reference level is expressed as:

$$p_m = \frac{\sum_i [m_i g (1 - \rho_a / \rho_{mi})] + \Gamma C}{S_p [1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t - 20)]}$$

where p_m is the pressure in Pa

m_i is the value of each mass applied on the piston, in kg. In gauge mode, this value of the mass can be replaced by the conventional one, by taking as mass density $\rho_{mi} = 8000 \text{ kg.m}^{-3}$.

g is the local gravity, in m.s^{-2}

ρ_a is the density of air in kg.m^{-3}

ρ_{mi} is the density of the mass m_i applied on the piston. For the calibration, this density was taken to $\rho_m = 15000 \text{ kg.m}^{-3}$ for the piston, to $\rho_m = 7800 \text{ kg.m}^{-3}$ for the weight carrier, and to $\rho_m = 7800 \text{ kg.m}^{-3}$ for the other weights. If the certificate of the mass gives the conventional value of the mass, m_i is expressed as

$$m_i = m_c \times \left[1 - \frac{1,2}{8000} + \frac{1,2}{\rho_{mi}} \right]$$

The overall mass applied on the piston, and corrected for the air buoyancy, is expressed as:

$$m_a = \sum_i m_i (1 - \rho_a / \rho_{mi})$$

Γ is the surface tension of the oil, in N/m

C is the circumference of the piston, in m

S_p is the effective area of the piston-cylinder assembly at the temperature of 20 °C, in m^2 . This effective area is modeled as a function of the pressure from the results of the calibration (see § 5).

α_p and α_c are the linear thermal expansion coefficients of piston and cylinder respectively:

$$\alpha_p + \alpha_c = 14,5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

t is the ambient temperature, in °C

4 - DETERMINATION DE LA PRESSION MESUREE PAR LA BALANCE

Après stabilisation en température de la balance de pression, la procédure suivante est utilisée :

- Vérification de la mobilité de l'élément de mesure
- Raccordement avec l'étalon
- Etalonnage en 6 points répartis sur toute l'étendue de mesure ; cet étalonnage est répété 3 fois (indifféremment par valeurs croissantes ou décroissantes de la pression).

La pression mesurée par la balance de pression à son niveau de référence est calculée d'après la formule :

$$P_m = \frac{\sum [m_i g (1 - \rho_a / \rho_{mi})] + \Gamma C}{S_p [1 + (\alpha_p + \alpha_c) (t - 20)]}$$

où, si P_m est exprimée en Pa :

m_i est la masse réelle d'ordre i appliquée sur le piston, en kg. En pression relative, cette masse peut être remplacée par la masse conventionnelle, en prenant comme masse volumique de la masse $\rho_{mi} = 8\,000 \text{ kg/m}^3$.

g est l'accélération de la pesanteur au lieu d'utilisation de la balance, en m.s^{-2}

ρ_a est la masse volumique de l'air, en kg.m^{-3}

ρ_{mi} est la masse volumique de la masse m_i appliquée sur le piston. Pour l'étalonnage, cette masse volumique a été prise égale à $\rho_m = 15\,000 \text{ kg.m}^{-3}$ pour le piston, à $\rho_m = 7\,800 \text{ kg.m}^{-3}$ pour la cloche, et à $\rho_m = 7\,800 \text{ kg.m}^{-3}$ pour les autres masses. Si le certificat d'étalonnage des masses donne la valeur conventionnelle de la masse, m_i est exprimée comme :

$$m_i = m_c \times \left[1 - \frac{1,2}{8000} + \frac{1,2}{\rho_{mi}} \right]$$

La masse corrigée de la poussée de l'air de l'ensemble des masses appliquées sur le piston est exprimée comme :

$$m_a = \sum m_i (1 - \rho_a / \rho_{mi})$$

Γ est la tension superficielle de l'huile, en N/m

C est la circonférence du piston, en m

S_p est la section effective à la température de + 20 °C de l'ensemble piston-cylindre, en m^2 . Cette section effective sera modélisée en fonction de la pression à partir des résultats de l'étalonnage (voir § 5).

α_p et α_c sont respectivement le coefficient de dilatation linéaire du matériau du piston et du cylindre :

$$\alpha_p + \alpha_c = 14,5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

t est la température ambiante, en °C

5 - DETERMINATION OF THE EFFECTIVE AREA

The pressure p_r being measured by the standard, the effective area S_p is determined for each pressure p_{ri} from the above expression, by reversing it :

$$S_p = \frac{\sum [m_i g (1 - \rho_a / \rho_{mi})] + \Gamma C}{p_{ri} [1 + (\alpha_p + \alpha_c) (t_i - 20)]}$$

From the analysis of the mean results $S_p = f(p)$, three cases can arise :

- 1 - The effective area S_0 is independant of the pressure, it is equal to the mean of all the determinations.
- 2 - The effective area S_p is a linear function of the pressure ; when noting S_0 the effective area at null pressure and λ the pressure distortion coefficient of the piston-cylinder assembly:

$$S_p = S_0 (1 + \lambda p)$$

S_0 and λ are calculated from the least squares straight line.

- 3 - The effective area is described from a second order polynomial expression

$$S_p = S_0 (1 + \lambda p + \lambda' p^2)$$

S_0 , λ and λ' are also calculated from the least squares method.

The analysis of the uncertainties related to the calibration was made in the last but one page of the calibration certificate in accordance with the Guide for the Expression of Uncertainty in Measurements.

The standard uncertainties were calculated from the contributions of uncertainties originating from the measurement standard, from the calibration method and environmental conditions, and from any short term contribution from the instrument being calibrated.

5 - DETERMINATION DE LA SECTION EFFECTIVE

La pression p_r étant mesurée par la balance de référence, la section effective S_p est déterminée pour chaque pression p_{ri} à partir de l'expression ci-dessus inversée :

$$S_p = \frac{\sum [m_i g (1 - \rho_a / \rho_{mi})] + \Gamma C}{p_{ri} [1 + (\alpha_p + \alpha_c) (t_i - 20)]}$$

L'analyse des résultats moyens $S_p = f(p)$ permet de dégager 3 cas :

- 1 - La section effective S_o est indépendante de la pression ; elle est égale à la moyenne de toutes les déterminations.
- 2 - La section effective S_p varie linéairement avec la pression ; si S_o est la section effective à pression nulle et λ le coefficient de déformation de l'ensemble piston-cylindre :

$$S_p = S_o (1 + \lambda p)$$

S_o et λ sont déterminés à partir de la droite des moindres carrés.

- 3 - La variation de la section effective S_p peut être décrite à partir d'un polynôme du second degré.

$$S_p = S_o (1 + \lambda p + \lambda' p^2)$$

S_o , λ et λ' sont également calculés par la méthode des moindres carrés.

L'analyse des incertitudes liées à l'étalonnage est faite en dernière page du certificat d'étalonnage conformément au Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure.

Les incertitudes-types sont calculées en tenant compte des différentes composantes d'incertitudes, étalons de référence, moyens d'étalonnage, conditions d'environnement, contribution à court terme de l'instrument étalonné.

5 - DETERMINATION OF THE EFFECTIVE AREA (Results)

The table below gives, for each reference pressure, the mass applied on the piston, the temperature of the piston-cylinder assembly, the calculated effective area, then, for each pressure point, the mean effective area and the corresponding sample standard deviation.

| | |
|--------------------------|------------------------------------|
| SERIAL DEVICE NUMBER | PRESSURE BALANCE AREMECA N° 1235/- |
| CALIBRATION DATE | 19 APRIL 2021 |
| CALIBRATION PERFORMED BY | TRICOUCHE CÉDRIC |

| REFERENCE PRESSURE | | MASS APPLIED ON THE PISTON * | TEMP. OF THE ASSEMBLY | EFFECTIVE AREA | MEAN EFFECTIVE AREA | STANDARD DEVIATION OF THE MEAN (N = 5) |
|--------------------|-----------|------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--|
| Pr | | m | t | S _p | S _p | (mm ²) |
| (MPa) | (bar) | (kg) | (°C) | (mm ²) | (mm ²) | (mm ²) |
| 5,012 692 | 50,126 92 | 1,001 382 | 20,0 | | | |
| 5,012 775 | 50,127 75 | 1,001 382 | 20,0 | | | |
| 5,012 729 | 50,127 29 | 1,001 382 | 20,0 | | | |
| 100,226 8 | 1 002,268 | 20,027 333 | 20,0 | 1,960 092 | | |
| 100,228 4 | 1 002,284 | 20,027 333 | 20,0 | 1,960 061 | 1,960 074 | 0,000 009 4 |
| 100,228 1 | 1 002,281 | 20,027 333 | 20,0 | 1,960 067 | | |
| 200,443 2 | 2 004,432 | 40,056 550 | 20,0 | 1,960 285 | | |
| 200,447 4 | 2 004,474 | 40,056 550 | 20,0 | 1,960 243 | 1,960 264 | 0,000 012 |
| 200,445 4 | 2 004,454 | 40,056 550 | 20,0 | 1,960 263 | | |
| 300,628 7 | 3 006,287 | 60,083 901 | 20,0 | 1,960 490 | | |
| 300,633 5 | 3 006,335 | 60,083 901 | 20,0 | 1,960 459 | 1,960 452 | 0,000 024 |
| 300,641 5 | 3 006,415 | 60,083 901 | 20,0 | 1,960 407 | | |
| 400,795 8 | 4 007,958 | 80,113 037 | 20,0 | 1,960 726 | | |
| 400,795 0 | 4 007,950 | 80,113 037 | 20,0 | 1,960 730 | 1,960 718 | 0,000 009 8 |
| 400,801 3 | 4 008,013 | 80,113 037 | 20,0 | 1,960 699 | | |
| 500,932 2 | 5 009,322 | 100,140 084 | 20,0 | 1,960 947 | | |
| 500,952 9 | 5 009,529 | 100,140 084 | 20,0 | 1,960 866 | 1,960 887 | 0,000 030 |
| 500,957 5 | 5 009,575 | 100,140 084 | 20,0 | 1,960 848 | | |

* The mass reported in the table is the value of the mass, corrected for the air buoyancy.

The value of the effective area has been issued from the above table. Case N° 2 defined in page 6 has been used:

Effective area at null pressure

$$S_0 = 1,959 854 \text{ mm}^2$$

Uncertainty of the effective area at null pressure S₀:

$$U = 9,7 \times 10^{-5} \text{ S.}$$

Pressure distortion coefficient

$$\lambda = 1,06 \times 10^{-7} \text{ bar}^{-1}$$

Uncertainty of the pressure distortion coefficient λ :

$$U = 1,1 \times 10^{-8} \text{ bar}^{-1}.$$

The calculation method of the uncertainties of these parameters is given in the last but one page of the Calibration Certificate.

5 - DETERMINATION DE LA SECTION EFFECTIVE (Résultats)

Le tableau des résultats ci-dessous donne, pour chaque pression de référence, la masse appliquée sur le piston, la température de l'ensemble piston-cylindre, la section effective calculée, puis, pour chaque point de pression, la section effective moyenne et l'écart-type expérimental sur cette moyenne.

| | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| REFERENCE DE L'APPAREIL | BALANCE DE PRESSION AREMECA N° 1235/- |
| DATE DE L'ETALONNAGE | 19 AVRIL 2021 |
| ETALONNAGE REALISE PAR | TRICOCHÉ CEDRIC |

| PRESSION DE REFERENCE | | MASSE APPLIQUEE SUR LE PISTON* | TEMP. DE L'ENSEMBLE | SECTION EFFECTIVE | SECTION EFFECTIVE MOYENNE | ECART-TYPE SUR LA MOYENNE (N = 5) |
|-----------------------|-----------|--------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Pr | | m | t | S _p | S _p | |
| (MPa) | (bar) | (kg) | (°C) | (mm ²) | (mm ²) | (mm ²) |
| 5,012 692 | 50,126 92 | 1,001 382 | 20,0 | | | |
| 5,012 775 | 50,127 75 | 1,001 382 | 20,0 | | | |
| 5,012 729 | 50,127 29 | 1,001 382 | 20,0 | | | |
| 100,226 8 | 1 002,268 | 20,027 333 | 20,0 | 1,960 092 | | |
| 100,228 4 | 1 002,284 | 20,027 333 | 20,0 | 1,960 061 | 1,960 074 | 0,000 009 4 |
| 100,228 1 | 1 002,281 | 20,027 333 | 20,0 | 1,960 067 | | |
| 200,443 2 | 2 004,432 | 40,056 550 | 20,0 | 1,960 285 | | |
| 200,447 4 | 2 004,474 | 40,056 550 | 20,0 | 1,960 243 | 1,960 264 | 0,000 012 |
| 200,445 4 | 2 004,454 | 40,056 550 | 20,0 | 1,960 263 | | |
| 300,628 7 | 3 006,287 | 60,083 901 | 20,0 | 1,960 490 | | |
| 300,633 5 | 3 006,335 | 60,083 901 | 20,0 | 1,960 459 | 1,960 452 | 0,000 024 |
| 300,641 5 | 3 006,415 | 60,083 901 | 20,0 | 1,960 407 | | |
| 400,795 8 | 4 007,958 | 80,113 037 | 20,0 | 1,960 726 | | |
| 400,795 0 | 4 007,950 | 80,113 037 | 20,0 | 1,960 730 | 1,960 718 | 0,000 009 8 |
| 400,801 3 | 4 008,013 | 80,113 037 | 20,0 | 1,960 699 | | |
| 500,932 2 | 5 009,322 | 100,140 084 | 20,0 | 1,960 947 | | |
| 500,952 9 | 5 009,529 | 100,140 084 | 20,0 | 1,960 866 | 1,960 887 | 0,000 030 |
| 500,957 5 | 5 009,575 | 100,140 084 | 20,0 | 1,960 848 | | |

* La masse indiquée dans le tableau est la valeur de la masse corrigée de la poussée de l'air.

On déduit de ce tableau la valeur de la section effective, déterminée à partir du cas N° 2 défini à la page 7, soit :

Section effective à pression nulle

$$S_0 = 1,959 854 \text{ mm}^2$$

Incertitude de la section effective S₀ à pression nulle :

$$U = 9,7 \times 10^{-5} \times S.$$

Coefficient de déformation

$$\lambda = 1,06 \times 10^{-7} \text{ bar}^{-1}$$

Incertitude du coefficient de déformation λ :

$$U = 1,1 \times 10^{-8} \text{ bar}^{-1}.$$

La méthode de calcul des incertitudes sur ces paramètres est donnée en dernière page du Certificat d'étalonnage.

6 - PRESENTATION OF THE RESULTS OF THE PRESSURE MEASUREMENTS

The table below gives, as a function of the reference pressure p_r , the pressure p_m measured by the pressure balance during the calibration (calculated by means of the formula established in the par. 4 when using the data of the calibration), the difference between the pressure measured by the two instruments, then the mean value of this difference and the experimental standard deviation of this difference.

| | |
|--------------------------|------------------------------------|
| SERIAL DEVICE NUMBER | PRESSURE BALANCE AREMECA N° 1235/- |
| CALIBRATION DATE | 19 APRIL 2021 |
| CALIBRATION PERFORMED BY | TRICOCHÉ CÉDRIC |

| REFERENCE PRESSURE p_r | | MEASURED PRESSURE p_m | PRESSURE DIFFERENCE $p_m - p_r$ | MEAN PRESSURE DIFFERENCE | EXP. STANDARD DEVIATION OF $p_m - p_r$ |
|-----------------------------|-----------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------|---|
| (MPa) | (bar) | (bar) | (bar) | (bar) | (bar) |
| 5,012 7 | 50,127 | 50,121 | - 0,006 | - 0,007 | 0,000 42 |
| 5,012 8 | 50,128 | 50,121 | - 0,007 | | |
| 5,012 7 | 50,127 | 50,121 | - 0,007 | | |
| 100,226 8 | 1 002,268 | 1 002,283 | + 0,015 | + 0,006 | 0,008 3 |
| 100,228 4 | 1 002,284 | 1 002,283 | - 0,001 | | |
| 100,228 1 | 1 002,281 | 1 002,283 | + 0,002 | | |
| 200,443 2 | 2 004,432 | 2 004,446 | + 0,014 | - 0,007 | 0,021 |
| 200,447 4 | 2 004,474 | 2 004,446 | - 0,028 | | |
| 200,445 4 | 2 004,454 | 2 004,446 | - 0,008 | | |
| 300,628 7 | 3 006,287 | 3 006,304 | + 0,016 | - 0,042 | 0,064 |
| 300,633 5 | 3 006,335 | 3 006,304 | - 0,031 | | |
| 300,641 5 | 3 006,415 | 3 006,304 | - 0,111 | | |
| 400,795 8 | 4 007,958 | 4 008,038 | + 0,080 | + 0,064 | 0,035 |
| 400,795 0 | 4 007,950 | 4 008,038 | + 0,088 | | |
| 400,801 3 | 4 008,013 | 4 008,038 | + 0,024 | | |
| 500,932 | 5 009,32 | 5 009,45 | + 0,13 | - 0,02 | 0,13 |
| 500,953 | 5 009,53 | 5 009,45 | - 0,07 | | |
| 500,957 | 5 009,57 | 5 009,45 | - 0,12 | | |

6 - PRESENTATION DES RESULTATS EN PRESSION

Le tableau suivant donne, en fonction de la pression de référence p_r , la pression p_m mesurée par la balance de pression lors de l'étalonnage (calculée à partir de l'équation établie au paragraphe 4 et en utilisant les données déterminées par l'étalonnage), l'écart entre la pression de référence et la pression mesurée, la valeur moyenne de cet écart et l'écart-type expérimental sur cet écart.

| | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| REFERENCE DE L'APPAREIL | BALANCE DE PRESSION AREMECA N° 1235/- |
| DATE DE L'ETALONNAGE | 19 AVRIL 2021 |
| ETALONNAGE REALISE PAR | TRICOCHÉ CEDRIC |

| PRESSION DE REFERENCE p_r | | PRESSION MESUREE p_m | DIFFERENCE DE PRESSION $p_m - p_r$ | DIFFERENCE DE PRESSION MOYENNE | ECART-TYPE SUR $p_m - p_r$ |
|--------------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| (MPa) | (bar) | (bar) | (bar) | (bar) | (bar) |
| 5,012 7 | 50,127 | 50,121 | - 0,006 | | |
| 5,012 8 | 50,128 | 50,121 | - 0,007 | - 0,007 | 0,000 42 |
| 5,012 7 | 50,127 | 50,121 | - 0,007 | | |
| 100,226 8 | 1 002,268 | 1 002,283 | + 0,015 | | |
| 100,228 4 | 1 002,284 | 1 002,283 | - 0,001 | + 0,006 | 0,008 3 |
| 100,228 1 | 1 002,281 | 1 002,283 | + 0,002 | | |
| 200,443 2 | 2 004,432 | 2 004,446 | + 0,014 | | |
| 200,447 4 | 2 004,474 | 2 004,446 | - 0,028 | - 0,007 | 0,021 |
| 200,445 4 | 2 004,454 | 2 004,446 | - 0,008 | | |
| 300,628 7 | 3 006,287 | 3 006,304 | + 0,016 | | |
| 300,633 5 | 3 006,335 | 3 006,304 | - 0,031 | - 0,042 | 0,064 |
| 300,641 5 | 3 006,415 | 3 006,304 | - 0,111 | | |
| 400,795 8 | 4 007,958 | 4 008,038 | + 0,080 | | |
| 400,795 0 | 4 007,950 | 4 008,038 | + 0,088 | + 0,064 | 0,035 |
| 400,801 3 | 4 008,013 | 4 008,038 | + 0,024 | | |
| 500,932 | 5 009,32 | 5 009,45 | + 0,13 | | |
| 500,953 | 5 009,53 | 5 009,45 | - 0,07 | - 0,02 | 0,13 |
| 500,957 | 5 009,57 | 5 009,45 | - 0,12 | | |

7 - ESTIMATION OF THE CALIBRATION UNCERTAINTY

The components used in the estimation of the uncertainty of the effective area and the pressure measured by the balance in the conditions of the calibration is given in the table below.

| COMPONENT | STANDARD UNCERTAINTY |
|---|--|
| <u>Effective area at null pressure</u> | |
| Type A . Uncertainty due to the fitting | $1,1 \times 10^{-5} \times S$ |
| Type B . Uncertainty due to the standard | $4,4 \times 10^{-5} \times S$ |
| • Uncertainty due to the total applied mass | $7,6 \times 10^{-6} \times S$ |
| • Uncertainty due to temperature ($\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) | $1,7 \times 10^{-5} \times S$ |
| • Uncertainty due to the head correction ($\pm 3 \text{ mm}$) | $9,0 \times 10^{-8} \times S$ |
| • Uncertainty due to the fluid density | $1,4 \times 10^{-8} \times S$ |
| • Uncertainty due to the verticality of the piston | $7,0 \times 10^{-7} \times S$ |
| <u>Pressure distortion coefficient</u> | |
| Type A . Uncertainty due to the fitting | $3,4 \times 10^{-14} \text{ Pa}^{-1} \times p^2$ |
| Type B . Uncertainty due to the standard | $4,4 \times 10^{-14} \text{ Pa}^{-1} \times p^2$ |
| <u>Pressure</u> | |
| Type A . Repeatability | $830 \text{ Pa} + 2,5 \times 10^{-5} \times p$ |
| Type B . Effective area at null pressure | $4,9 \times 10^{-5} \times p$ |
| • Pressure distortion coefficient | $5,5 \times 10^{-14} \text{ Pa}^{-1} \times p^2$ |
| • Gravity | $1,0 \times 10^{-7} \times p$ |
| • Reference level ($\pm 3 \text{ mm}$) | $9,0 \text{ Pa}$ |
| • Air buoyancy ($\pm 2 \text{ \% of } \rho_a$) | $1,0 \times 10^{-6} \times p$ |

The combined standard uncertainty is calculated as the quadratic combination of the components due to each parameter. By multiplying this standard uncertainty by a coverage factor $k = 2$, the expanded uncertainty in the conditions of the calibration at LNE is expressed as:

Uncertainty of the effective area at null pressure S_0 : $U = 9,7 \times 10^{-5} \times S$.

Uncertainty of the pressure distortion coefficient λ : $U = 1,1 \times 10^{-8} \text{ bar}^{-1}$.

Uncertainty of the pressure measured by the balance:
 $U = (1400 \text{ Pa} + 1,2 \times 10^{-4} \times p)$.

This uncertainty of the pressure in the conditions of the calibration at LNE is expressed from both combined standard uncertainties calculated for the lower limit of the range and the upper limit of the range. The expanded uncertainty is expressed as:

- a component in Pa equal to the intercept of the straight line joining the combined standard uncertainty calculated for the two limits, multiplied by a coverage factor $k = 2$,
- a component proportional to the pressure p , calculated as the slope of the straight line joining the combined standard uncertainty calculated for the two limits, multiplied by a coverage factor $k = 2$.

When using the balance, the pressure has to be calculated from the equation in § 4. The uncertainty of this pressure has to be estimated from the data given in this certificate and by taking into account the local environmental conditions.

7 - ESTIMATION DE L'INCERTITUDE D'ETALONNAGE

Les composantes intervenant dans l'estimation de l'incertitude sur la section effective et sur la pression mesurée par la balance dans les conditions de l'étalonnage sont listées dans le tableau ci-dessous.

| COMPOSANTE | INCERTITUDE-TYPE |
|---|--|
| <u>Section effective à pression nulle</u> | |
| Type A . Incertitude due à la modélisation | $1,1 \times 10^{-5} \times S$ |
| Type B . Incertitude due à l'étalon | $4,4 \times 10^{-5} \times S$ |
| . Incertitude sur la masse totale appliquée | $7,6 \times 10^{-6} \times S$ |
| . Incertitude due à la température ($\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) | $1,7 \times 10^{-5} \times S$ |
| . Incertitude due à la colonne de fluide ($\pm 3 \text{ mm}$) | $9,0 \times 10^{-8} \times S$ |
| . Incertitude due à la masse volumique du fluide | $1,4 \times 10^{-8} \times S$ |
| . Incertitude due à la verticalité du piston | $7,0 \times 10^{-7} \times S$ |
| <u>Coefficient de déformation</u> | |
| Type A . Incertitude due à la modélisation | $3,4 \times 10^{-14} \text{ Pa}^{-1} \times p^2$ |
| Type B . Incertitude due à l'étalon | $4,4 \times 10^{-14} \text{ Pa}^{-1} \times p^2$ |
| <u>Pression</u> | |
| Type A . Répétabilité | $830 \text{ Pa} + 2,5 \times 10^{-5} \times p$ |
| Type B . Section effective à pression nulle | $4,9 \times 10^{-5} \times p$ |
| . Coefficient de déformation | $5,5 \times 10^{-14} \text{ Pa}^{-1} \times p^2$ |
| . Accélération de la pesanteur | $1,0 \times 10^{-7} \times p$ |
| . Niveau de référence ($\pm 3 \text{ mm}$) | $9,0 \text{ Pa}$ |
| . Poussée de l'air ($\pm 2 \% \text{ de } \rho_a$) | $1,0 \times 10^{-6} \times p$ |

L'incertitude-type composée est calculée à partir de la combinaison quadratique des composantes liées à chaque paramètre. En multipliant cette incertitude-type par un facteur d'élargissement de 2, on obtient une estimation de l'incertitude élargie dans les conditions de l'étalonnage au LNE :

Incertitude sur la section effective à pression nulle S_0 : $U = 9,7 \times 10^{-5} \times S$.

Incertitude sur le coefficient de déformation λ : $U = 1,1 \times 10^{-8} \text{ bar}^{-1}$.

Incertitude sur la pression mesurée par la balance :
 $U = (1400 \text{ Pa} + 1,2 \times 10^{-4} \times p)$.

Cette incertitude sur la pression mesurée dans les conditions de l'étalonnage au LNE est estimée ci-dessous par la méthode de la corde. Cette méthode consiste à calculer l'incertitude-type composée, obtenue par combinaison quadratique des différentes composantes considérées comme indépendantes, pour la borne minimale et la borne maximale de l'étendue de mesure de la balance, puis à exprimer l'incertitude élargie à partir :

- d'une composante en Pa, égale à l'ordonnée à l'origine de la droite reliant les deux points, multipliée par le facteur d'élargissement $k=2$,
- d'une composante proportionnelle à la pression p , calculée comme la pente de la droite reliant les deux points, multipliée par le facteur d'élargissement $k=2$.

En utilisation, la pression mesurée par la balance doit être calculée à partir de l'expression présentée dans le paragraphe 4. L'incertitude sur cette pression doit être estimée à partir des données fournies dans ce certificat d'étalonnage et des conditions d'environnement locales.

Commande : N° 16276 du 29/03/2021

CERTIFICAT D'ÉTALONNAGE

N° P211550 / 2

Délivré à : **AREMECA**
ZI Sud
Rue Marc Seguin
41100 VENDOME

INSTRUMENT ETALONNÉ

Désignation : **Masses de balance de pression**

Constructeur : **AREMECA**

Type : **10 à 400 bar**

N° de série : **Individuel**

N° d'identification : **/**

Ce certificat comprend 3 pages

Date d'émission : **15 avril 2021**

LE RESPONSABLE
DU LABORATOIRE D'ÉTALONNAGE



Frédéric BRUNET



Accréditation
N° 2-36

Portée disponible
sur www.cofrac.fr

La reproduction de ce certificat n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral
This certificate may not be reproduced other than in full by photographic process

331 M 0801-03d rév F (modèle – page 1/3 - 331 M REP 05 / WINMASSE)

Laboratoire national de métrologie et d'essais • Etablissement public à caractère industriel et commercial
Siège social : 1, rue Gaston Boissier - 75724 Paris Cedex 15 • Tél. : 01 40 43 37 00 - Fax : 01 40 43 37 37
info@lne.fr • lne.fr • RCS Paris 313 320 244 - NAF : 7120B - TVA : FR 92 313 320 244

1. DESCRIPTION ET IDENTIFICATION DES MASSES

Etalon(s) de 620 g :

- Cloche(s) en divers métaux

Les numéros de série et/ou d'identification sont marqués sur l'(es) étalon(s).

Etalons de 200 g à 8 kg :

- disque(s) en acier inoxydable monobloc

Les numéros de série et/ou d'identification sont marqués sur l'(es) étalon(s).

2. MÉTHODE D'ÉTALONNAGE

Les masses sont étalonnées par comparaison à des masses étalons de travail de même valeur nominale du laboratoire, selon un schéma de comparaison EMME ou MEEM. Les masses étalons de travail sont raccordées selon la même méthode aux masses étalons de référence du laboratoire.

3. RÉSULTATS

Les résultats de l'étalonnage sont donnés en masse conventionnelle.

La "masse conventionnelle" de la masse étalonnée est égale à la masse d'un étalon qui équilibre cette masse dans des conditions conventionnellement choisies. Ces conditions sont :

- température : 20 °C
- masse volumique de l'air : 1,2 kg.m⁻³
- masse volumique de l'étalon à 20 °C : 8 000 kg.m⁻³.

Les résultats des pesées ont été corrigés, si nécessaire, pour les ramener à ces conditions de référence.

Le tableau de la page suivante donne ces résultats, à savoir :

- la masse conventionnelle de la masse étalonnée
- l'incertitude élargie sur cette valeur
- la nature de l'intervention éventuellement effectuée :
"N" = Nettoyage, "A" = Ajustage, "E" = Echange, "-" = aucune intervention.

Les incertitudes élargies mentionnées sont celles correspondant à deux fois l'incertitude-type composée. Les incertitudes-types ont été calculées en tenant compte des différentes composantes d'incertitudes, étalons de référence, moyens d'étalonnage, conditions d'environnement, contribution de l'instrument étalonné, répétabilité.

CE CERTIFICAT D'ÉTALONNAGE GARANTIT LE RACCORDEMENT DES RÉSULTATS D'ÉTALONNAGE AU SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS (SI).

Suite du certificat page suivante

ÉTALONNAGE DE POIDS OU DE MASSES ÉTALONS

Date de l'étalonnage : 15 avril 2021

Étalonnage réalisé par : BRUNET Frédéric

Résultat(s) de l'étalonnage

| IDENTIFICATION DU POIDS OU DE LA MASSE ÉTALON | | MASSE CONVENTIONNELLE | | INCERTITUDE ÉLARGIE (k=2) | INTER- VENTION | |
|--|-----------|--------------------------|---------|---------------------------------|-------------------|---|
| 400 bar | 1235-1-1 | 8012,49 | g | ± 0,12 g | - | |
| 400 bar | 1235-1-2 | 8012,55 | g | ± 0,12 g | - | |
| 400 bar | 1235-1-3 | 8012,54 | g | ± 0,12 g | - | |
| 400 bar | 1235-1-4 | 8012,50 | g | ± 0,12 g | - | |
| 400 bar | 1235-1-5 | 8012,42 | g | ± 0,12 g | - | |
| 400 bar | 1235-1-6 | 8012,61 | g | ± 0,12 g | - | |
| 400 bar | 1235-1-7 | 8012,48 | g | ± 0,12 g | - | |
| 400 bar | 1235-1-8 | 8012,58 | g | ± 0,12 g | - | |
| 400 bar | 1235-1-16 | 8012,45 | g | ± 0,12 g | - | |
| 400 bar | 1235-1-17 | 8012,44 | g | ± 0,12 g | - | |
| 360 bar | 1235-1-9 | 7211,27 | g | ± 0,12 g | - | |
| 200 bar | 1235-1-10 | 4005,347 | g | ± 60 mg | - | |
| 200 bar | 1235-1-18 | 4006,173 | g | ± 60 mg | - | |
| 80 bar | 1235-1-11 | 1602,479 | g | ± 24 mg | - | |
| 80 bar | 1235-1-12 | 1602,469 | g | ± 24 mg | - | |
| 40 bar | 1235-1-13 | 801,165 | g | ± 12 mg | - | |
| 20 bar | 1235-1-14 | 400,608 0 | g | ± 6,0 mg | - | |
| 10 bar | 1235-1-15 | 200,281 0 | g | ± 3,0 mg | - | |
| cloche | 40 bar | 1235-1-16 | 619,402 | g | ± 10 mg | - |

Aucune intervention du type nettoyage, ajustage ou échange n'a été effectuée sur les masses

Fin du certificat