

Commande : 14290 du 28/01/2019
Purchase Order

CERTIFICAT D'ETALONNAGE
CALIBRATION CERTIFICATE

N° P189881 / 2

DELIVRE A : **AREMECA**
ISSUED FOR **ZI Sud**
Rue Marc Seguin
41100 VENDOME

INSTRUMENT ETALONNE
CALIBRATED INSTRUMENT

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

Constructeur : **AREMECA**
Manufacturer :

Type : **BL2H / 1200 BAR**
Type :

N° de série : **H0001/-**
Serial number :
N° d'identification :
Identification number :

Ce certificat comprend 13 pages
This certificate includes pages

Date d'émission : **23 avril 2019**
Date of issue :

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



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



Pierre OTAL

333HP0502-01_Bal section rév. C

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

(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	: BL2H / 1200 BAR	N° : H0001
- Serial number of the piston	: -	
- Serial number of the cylinder	: -	
- Measured pressure	: gauge	
- Range	: from 20 to 1200 bar	
- Set of masses	: engraved in pressure unit	N° : 0001
(Calibration certificate N° P189881/1)		

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° 0001 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° 3103 / 193 B.

The uncertainty of the pressure measured by this standard in the calibration conditions is
(180 Pa + 6,0 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.

3 - CONDITIONS OF THE CALIBRATION

The conditions of the calibration are the following:

- Working fluid	: oil (Aremeca H40)
- Atmospheric pressure	: 999 hPa
- Temperature lab.	: (20 ± 1) °C
- Humidity	: (55 ± 20) % HR
- Gravity	: 9,809273 m.s ⁻²
- Reference level	: output port

ETALONNAGE D'UNE BALANCE DE PRESSION

1 - IDENTIFICATION

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

- Constructeur	: AREMECA	
- Type	: BL2H / 1200 BAR	N° : H0001
- Numéro du piston	: -	
- Numéro du cylindre	: -	
- Pression mesurée	: relative	
- Etendue de mesure	: de 20 à 1200 bar	
- Jeu de masses	: gravé en unité de pression	N° : 0001
(Certificat d'étalonnage N° P189881/1)		

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° 0001 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° 3103 / 193 B.

L'incertitude sur la mesure de la pression de cet étalon dans les conditions de l'étalonnage est de
(180 Pa + $6,0 \times 10^{-5} \times p$)

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.

3 - CONDITIONS DE L'ETALONNAGE

L'étalonnage est effectué dans les conditions suivantes :

- Fluide de travail	: huile (Aremeca H40)
- Pression atmosphérique	: 999 hPa
- Température ambiante	: (20 ± 1) °C
- Humidité ambiante	: (55 ± 20) % HR
- Accélération de la pesanteur	: 9,809273 m.s ⁻²
- Niveau de référence	: raccord de sortie

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 $\rho_m = 8000 \text{ kg.m}^{-3}$ for the piston, 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:

$$\alpha_p + \alpha_c = 9,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

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 :

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

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 $\rho_m = 8000 \text{ kg.m}^{-3}$ pour le piston, et à $\rho_m = 7800 \text{ kg.m}^{-3}$ 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 :

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

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 $+ 20 \text{ °C}$ 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 :

$$\alpha_p + \alpha_c = 9,0 \times 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$$

t est la température ambiante, en °C

5 - DETERMINATION OF THE EFFECTIVE AREA

A method of calculation by pressure increasing was used:

- a first equilibrium was made at the pressure $p_{base} = 20,0$ bar
- other equilibria were then made to the successive pressures p_i .

One can demonstrate that the pressure increase Δp_{ri} measured by the standard is:

$$\Delta p_{ri} = \frac{\Delta M_{ri} g}{S_{Or} \left[1 + (\alpha_{pr} + \alpha_{cr})(t_{ri} - 20) \right] \left[1 + \lambda_r(p_o + p_i) \right]} + p_o \cdot (\alpha_{pr} + \alpha_{cr}) \cdot (t_{ro} - t_{ri})$$

By taking the same notations without the suffix R for the piston-cylinder assembly to be calibrated, its effective area is expressed as :

$$S_{pi} = S_o \cdot \left[1 + \lambda(p_o + p_i) \right] = \frac{\Delta M_i g (1 - \rho_a / \rho_m)}{\left[\Delta p_{ri} - p_o (\alpha_p + \alpha_c) (t_o - t_i) \right] \left[1 + (\alpha_p + \alpha_c) \cdot (t_i - 20) \right]}$$

From the analysis of the mean results $S_p = f(p_o + p_i)$, two cases can arise:

- 1 - The effective area S_o is independent 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 ; with S_o denoting the effective area at zero pressure and λ the pressure distortion coefficient of the piston-cylinder assembly :

$$S_p = S_o \cdot \left[1 + \lambda(p_o + p) \right]$$

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

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

Une méthode par accroissement de pression est utilisée :

- . un premier équilibre est effectué à la pression $p_{base} = 20,0$ bar
- . d'autres équilibres sont ensuite effectués aux pressions successives p_i .

On démontre que l'accroissement de pression Δp_{ri} mesuré par l'étalon s'écrit :

$$\Delta p_{ri} = \frac{\Delta M_{ri} g}{S_{or} \left[1 + (\alpha_{pr} + \alpha_{cr})(t_{ri} - 20) \right] \left[1 + \lambda_r(p_o + p_i) \right]} + p_o \cdot (\alpha_{pr} + \alpha_{cr}) \cdot (t_{ro} - t_{ri})$$

En reprenant pour l'ensemble piston-cylindre à étalonner les mêmes notations sans l'indice R, sa section effective est calculée à partir de la formule :

$$S_{pi} = S_o \cdot \left[1 + \lambda(p_o + p_i) \right] = \frac{\Delta M_i g (1 - \rho_a / \rho_m)}{\left[\Delta p_{ri} - p_o (\alpha_p + \alpha_c) (t_o - t_i) \right] \left[1 + (\alpha_p + \alpha_c) \cdot (t_i - 20) \right]}$$

L'analyse des résultats moyens $S_p = f(p_o + p_i)$ permet de dégager deux 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 :

$$S_p = S_o \cdot \left[1 + \lambda(p_o + p) \right]$$

S_o et λ sont déterminés à partir de la droite 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° H0001/-
CALIBRATION DATE	4 APRIL 2019
CALIBRATION PERFORMED BY	BOULAY FLORIAN

REFERENCE PRESSURE		MASS APPLIED ON THE PISTON *	TEMP. OF THE ASSEMBLY	EFFECTIVE AREA	MEAN EFFECTIVE AREA	STANDARD DEVIATION OF THE MEAN (N = 5)
p_r		m	t	S_p	S_p	
(MPa)	(bar)	(kg)	(°C)	(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)
1,999 580	19,995 80	0,000 000	20,0			
1,999 798	19,997 98	0,000 000	20,0			
2,000 545	20,005 45	0,000 000	20,0			
10,002 21	100,022 1	3,204 094	20,0	3,927 55	3,927 73	0,000 09
10,001 63	100,016 3	3,204 094	20,0	3,927 84		
10,001 70	100,017 0	3,204 093	20,0	3,927 80		
30,003 77	300,037 7	11,214 353	20,0	3,928 18	3,928 14	0,000 06
30,003 58	300,035 8	11,214 355	20,0	3,928 21		
30,004 97	300,049 7	11,214 350	20,0	3,928 01		
50,008 03	500,080 3	19,224 650	20,0	3,928 07	3,928 01	0,000 05
50,008 45	500,084 5	19,224 652	20,0	3,928 04		
50,010 05	500,100 5	19,224 644	20,0	3,927 91		
80,015 22	800,152 2	31,240 174	20,0	3,927 99	3,927 96	0,000 02
80,015 88	800,158 8	31,240 179	20,0	3,927 95		
80,016 33	800,163 3	31,240 165	20,0	3,927 93		
120,021 3	1 200,213	47,260 674	20,0	3,928 04	3,928 03	0,000 01
120,021 3	1 200,213	47,260 681	20,0	3,928 04		
120,021 8	1 200,218	47,260 660	20,0	3,928 02		

* 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

$$S_0 = 3,927 97 \text{ mm}^2$$

Uncertainty of the effective area at null pressure S_0 :

$$U = 7,3 \times 10^{-5} \times S,$$

Pressure distortion coefficient

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

Uncertainty of the pressure distortion coefficient λ :

$$U = 4,7 \times 10^{-8} \text{ bar}^{-1},$$

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° H0001/-
DATE DE L'ETALONNAGE	4 AVRIL 2019
ETALONNAGE REALISE PAR	BOULAY FLORIAN

PRESSION DE REFERENCE		MASSE APPLIQUEE SUR LE PISTON*	TEMP, DE L'ENSEMBLE	SECTION EFFECTIVE	SECTION EFFECTIVE MOYENNE	ECART-TYPE SUR LA MOYENNE (N = 5)
P_r		m	t	S_p	S_p	
(MPa)	(bar)	(kg)	(°C)	(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)
1,999 580	19,995 80	0,000 000	20,0			
1,999 798	19,997 98	0,000 000	20,0			
2,000 545	20,005 45	0,000 000	20,0			
10,002 21	100,022 1	3,204 094	20,0	3,927 55		
10,001 63	100,016 3	3,204 094	20,0	3,927 84	3,927 73	0,000 09
10,001 70	100,017 0	3,204 093	20,0	3,927 80		
30,003 77	300,037 7	11,214 353	20,0	3,928 18		
30,003 58	300,035 8	11,214 355	20,0	3,928 21	3,928 14	0,000 06
30,004 97	300,049 7	11,214 350	20,0	3,928 01		
50,008 03	500,080 3	19,224 650	20,0	3,928 07		
50,008 45	500,084 5	19,224 652	20,0	3,928 04	3,928 01	0,000 05
50,010 05	500,100 5	19,224 644	20,0	3,927 91		
80,015 22	800,152 2	31,240 174	20,0	3,927 99		
80,015 88	800,158 8	31,240 179	20,0	3,927 95	3,927 96	0,000 02
80,016 33	800,163 3	31,240 165	20,0	3,927 93		
120,021 3	1 200,213	47,260 674	20,0	3,928 04		
120,021 3	1 200,213	47,260 681	20,0	3,928 04	3,928 03	0,000 01
120,021 8	1 200,218	47,260 660	20,0	3,928 02		

* 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	$S_0 = 3,927 97 \text{ mm}^2$
Incertitude de la section effective S_0 à pression nulle :	$U = 7,3 \times 10^{-5} \times S_0$
Coefficient de déformation	$\lambda = 1,1 \times 10^{-8} \text{ bar}^{-1}$
Incertitude du coefficient de déformation λ :	$U = 4,7 \times 10^{-8} \text{ bar}^{-1}$

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,

The value of the measured pressure corresponding to the mass of the piston and the associated tare for the conditions of the calibration is : $p_o = 19,998\ 12$ bar, That pressure has to be added to the pressure calculated for the mass applied on the piston by the means of the equation in page 4 of the Certificate :

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

For other environmental conditions (gravity g_L and temperature t_L), p_o has to be corrected using the following formula :

$$P_{oL} = P_o \cdot \frac{g_L}{g_{Ine}} \cdot \frac{[1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t - 20)]}{[1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t_L - 20)]}$$

SERIAL DEVICE NUMBER	PRESSURE BALANCE AREMECA N° H0001/-
CALIBRATION DATE	4 APRIL 2019
CALIBRATION PERFORMED BY	BOULAY FLORIAN

REFERENCE PRESSURE		MEASURED PRESSURE	PRESSURE DIFFERENCE	MEAN PRESSURE DIFFERENCE	EXP. STANDARD DEVIATION OF
p_r		p_m	$p_m - p_r$		$p_m - p_r$
(MPa)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)
1,999 58	19,995 8	19,998 12	0,002 32		
1,999 80	19,998 0	19,998 12	0,000 14	-0,001 63	0,005 1
2,000 55	20,005 5	19,998 12	-0,007 34		
10,002 21	100,022 1	100,013 49	-0,008 60		
10,001 63	100,016 3	100,013 50	-0,002 76	-0,004 97	0,003 2
10,001 70	100,017 0	100,013 47	-0,003 54		
30,003 77	300,037 7	300,051 95	0,014 28		
30,003 58	300,035 8	300,051 99	0,016 19	0,010 89	0,007 6
30,004 97	300,049 7	300,051 87	0,002 19		
50,008 0	500,080	500,090 47	0,010 14		
50,008 4	500,084	500,090 54	0,006 06	0,002 02	0,011
50,010 0	500,100	500,090 32	-0,010 13		
80,015 22	800,152 2	800,148 60	-0,003 61		
80,015 88	800,158 8	800,148 72	-0,010 11	-0,009 57	0,005 7
80,016 33	800,163 3	800,148 37	-0,014 98		
120,021 31	1 200,213 1	1200,218 09	0,005 00		
120,021 31	1 200,213 1	1200,218 27	0,005 13	0,003 26	0,003 1
120,021 81	1 200,218 1	1200,217 73	-0,000 36		

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,

La pression engendrée par la balance et correspondant à la masse du piston et de la tare associée est, dans les conditions de l'étalonnage : $p_o = 19,998\ 12$ bar, Cette pression s'ajoute à la pression correspondant à la masse appliquée sur le piston et calculée à partir de l'expression donnée en page 5 du Certificat :

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

Pour d'autres conditions d'environnement (accélération g_L et température t_L), le terme p_o doit être corrigé à partir de l'expression suivante :

$$p_{oL} = p_o \cdot \frac{g_L}{g_{Ine}} \cdot \frac{[1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t - 20)]}{[1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t_L - 20)]}$$

REFERENCE DE L'APPAREIL	BALANCE DE PRESSION AREMECA N° H0001/-
DATE DE L'ETALONNAGE	4 AVRIL 2019
ETALONNAGE REALISE PAR	BOULAY FLORIAN

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)
1,999 58	19,995 8	19,998 12	0,002 32		
1,999 80	19,998 0	19,998 12	0,000 14	-0,001 63	0,005 1
2,000 55	20,005 5	19,998 12	-0,007 34		
10,002 21	100,022 1	100,013 49	-0,008 60		
10,001 63	100,016 3	100,013 50	-0,002 76	-0,004 97	0,003 2
10,001 70	100,017 0	100,013 47	-0,003 54		
30,003 77	300,037 7	300,051 95	0,014 28		
30,003 58	300,035 8	300,051 99	0,016 19	0,010 89	0,007 6
30,004 97	300,049 7	300,051 87	0,002 19		
50,008 0	500,080	500,090 47	0,010 14		
50,008 4	500,084	500,090 54	0,006 06	0,002 02	0,011
50,010 0	500,100	500,090 32	-0,010 13		
80,015 22	800,152 2	800,148 60	-0,003 61		
80,015 88	800,158 8	800,148 72	-0,010 11	-0,009 57	0,005 7
80,016 33	800,163 3	800,148 37	-0,014 98		
120,021 31	1 200,213 1	1200,218 09	0,005 00		
120,021 31	1 200,213 1	1200,218 27	0,005 13	0,003 26	0,003 1
120,021 81	1 200,218 1	1200,217 73	-0,000 36		

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	$1,7 \times 10^{-5} \times S$
Type B , Uncertainty due to the standard	$3,0 \times 10^{-5} \times S$
, Uncertainty due to the total applied mass	$7,6 \times 10^{-6} \times S$
, Uncertainty due to temperature (± 2 °C)	$1,0 \times 10^{-5} \times S$
, 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	$2,3 \times 10^{-13} \text{ Pa}^{-1} \times p^2$
Type B , Uncertainty due to the standard	$6,5 \times 10^{-15} \text{ Pa}^{-1} \times p^2$
<u>Pressure</u>	
Type A , Repeatability	$320 \text{ Pa} + 1,5 \times 10^{-5} \times p$
Type B , Effective area at null pressure	$3,7 \times 10^{-5} \times p$
, Pressure distortion coefficient	$2,3 \times 10^{-13} \text{ Pa}^{-1} \times p^2$
, Gravity	$1,0 \times 10^{-7} \times p$
, Reference level (± 3 mm)	8,4 Pa
, Air buoyancy (± 2 % of ρ_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 : $U = 7,3 \times 10^{-5} \times S,$

Uncertainty of the pressure distortion coefficient λ : $U = 4,7 \times 10^{-8} \text{ bar}^{-1},$

Uncertainty of the pressure measured by the balance:
 $U = (520 \text{ Pa} + 9,5 \times 10^{-5} \times p),$

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	$1,7 \times 10^{-5} \times S$
Type B , Incertitude due à l'étalon	$3,0 \times 10^{-5} \times S$
, Incertitude sur la masse totale appliquée	$7,6 \times 10^{-6} \times S$
, Incertitude due à la température ($\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$)	$1,0 \times 10^{-5} \times S$
, 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	$2,3 \times 10^{-13} \text{ Pa}^{-1} \times p^2$
Type B , Incertitude due à l'étalon	$6,5 \times 10^{-15} \text{ Pa}^{-1} \times p^2$
<u>Pression</u>	
Type A , Répétabilité	$320 \text{ Pa} + 1,5 \times 10^{-5} \times p$
Type B , Section effective à pression nulle	$3,7 \times 10^{-5} \times p$
, Coefficient de déformation	$2,3 \times 10^{-13} \text{ Pa}^{-1} \times p^2$
, Accélération de la pesanteur	$1,0 \times 10^{-7} \times p$
, Niveau de référence ($\pm 3 \text{ mm}$)	$8,4 \text{ Pa}$
, 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 :

Incrtitude sur la section effective à pression nulle S_0 : $U = 7,3 \times 10^{-5} \times S$,

Incrtitude sur le coefficient de déformation λ : $U = 4,7 \times 10^{-8} \text{ bar}^{-1}$,

Incrtitude sur la pression mesurée par la balance :
 $U = (520 \text{ Pa} + 9,5 \times 10^{-5} \times p)$,

Cette incrtitude 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'incrtitude-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'incrtitude 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'incrtitude sur cette pression doit être estimée à partir des données fournies dans ce certificat d'étalonnage et des conditions d'environnement locales,

Commande : **14572 du 23/04/2019**
Purchase Order

CERTIFICAT D'ETALONNAGE
CALIBRATION CERTIFICATE

N° P189881 / 3

DELIVRE A : **AREMECA**
ISSUED FOR
ZI Sud
Rue Marc Seguin
41100 VENDOME

INSTRUMENT ETALONNE
CALIBRATED INSTRUMENT

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

Constructeur : **AREMECA**
Manufacturer :

Type : **BH2-1200**
Type :

N° de série : **H0001/-**
Serial number :

N° d'identification :
Identification number :

Ce certificat comprend 13 pages
This certificate includes pages

Date d'émission : **23 avril 2019**
Date of issue :

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




Pierre OTAL

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

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

(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	: BH2-1200	N° : H0001
- Serial number of the piston	: -	
- Serial number of the cylinder	: -	
- Measured pressure	: gauge	
- Range	: from 10 to 60 bar	
- Set of masses	: engraved in pressure unit	N° : BH3-1200
(Calibration certificate N° P189881/1)		

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° BH3-1200 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 digital pressure manometer LNE N° MNR PAROS 1044 for pressure up to 2 bar (standard (1))
- the pressure balance N° 6593 / 8756 up to the maximum pressure (standard (2)).

The uncertainty of the pressure measured by these standards in the calibration conditions is $(5,0 \text{ Pa} + 6,0 \times 10^{-5} \times p)$ for standard (1) and $(1 \text{ Pa} + 6,0 \times 10^{-5} \times p)$ for standard (2).

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.

3 - CONDITIONS OF THE CALIBRATION

The conditions of the calibration are the following:

- Working fluid	: oil (Aremeca H40)
- Atmospheric pressure	: 1002 hPa
- Temperature lab.	: $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$
- Humidity	: $(55 \pm 20) \% \text{ HR}$
- Gravity	: $9,809273 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
- Reference level	: output port

ETALONNAGE D'UNE BALANCE DE PRESSION

1 - IDENTIFICATION

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

- Constructeur	: AREMECA	
- Type	: BH2-1200	N° : H0001
- Numéro du piston	: -	
- Numéro du cylindre	: -	
- Pression mesurée	: relative	
- Etendue de mesure	: de 10 à 60 bar	
- Jeu de masses	: gravé en unité de pression	N° : BH3-1200
(Certificat d'étalonnage N° P189881/1)		

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° BH3-1200 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

- le manomètre numérique LNE N° MNR PAROS 1044 jusqu'à la pression de 2 bar (étalon(1)),
- la balance de pression N° 6593 / 8756 jusqu'à la pression maximale (étalon(2)).

L'incertitude sur la mesure de la pression de ces étalons dans les conditions de l'étalonnage est de $(5,0 \text{ Pa} + 6,0 \times 10^{-5} \times p)$ pour l'étalon (1) et $(1 \text{ Pa} + 6,0 \times 10^{-5} \times p)$ pour l'étalon (2)

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.

3 - CONDITIONS DE L'ETALONNAGE

L'étalonnage est effectué dans les conditions suivantes :

- Fluide de travail	: huile (Aremeca H40)
- Pression atmosphérique	: 1002 hPa
- Température ambiante	: $(20 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$
- Humidité ambiante	: $(55 \pm 20) \text{ \% HR}$
- Accélération de la pesanteur	: $9,809273 \text{ m.s}^{-2}$
- Niveau de référence	: raccord de sortie

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 $\rho_m = 7800 \text{ kg.m}^{-3}$ for the piston, 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:

$$\alpha_p + \alpha_c = 9,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

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 $\rho_m = 7800 \text{ kg.m}^{-3}$ pour le piston, et à $\rho_m = 7800 \text{ kg.m}^{-3}$ 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 :

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

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 :

$$\alpha_p + \alpha_c = 9,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

t est la température ambiante, en °C

5 - DETERMINATION OF THE EFFECTIVE AREA

A method of calculation by pressure increasing was used:

- . a first equilibrium was made at the pressure $p_{\text{base}} = 1,0 \text{ bar}$
- . other equilibria were then made to the successive pressures p_i .

One can demonstrate that the pressure increase Δp_{ri} measured by the standard is:

$$\Delta p_{ri} = \frac{\Delta M_{ri} g}{S_{or} \left[1 + (\alpha_{pr} + \alpha_{cr})(t_{ri} - 20) \right] \left[1 + \lambda_r(p_o + p_i) \right]} + p_o \cdot (\alpha_{pr} + \alpha_{cr}) \cdot (t_{ro} - t_{ri})$$

By taking the same notations without the suffix R for the piston-cylinder assembly to be calibrated, its effective area is expressed as :

$$S_{pi} = S_o \cdot \left[1 + \lambda(p_o + p_i) \right] = \frac{\Delta M_i g (1 - \rho_a / \rho_m)}{\left[\Delta p_{ri} - p_o (\alpha_p + \alpha_c)(t_o - t_i) \right] \left[1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t_i - 20) \right]}$$

From the analysis of the mean results $S_p = f(p_o + p_i)$, two cases can arise:

- 1 - The effective area S_o is independent 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 ; with S_o denoting the effective area at zero pressure and λ the pressure distortion coefficient of the piston-cylinder assembly :

$$S_p = S_o \cdot \left[1 + \lambda(p_o + p) \right]$$

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

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

Une méthode par accroissement de pression est utilisée :

- . un premier équilibre est effectué à la pression $p_{\text{base}} = 1,0 \text{ bar}$
- . d'autres équilibres sont ensuite effectués aux pressions successives p_i .

On démontre que l'accroissement de pression Δp_{ri} mesuré par l'étalon s'écrit :

$$\Delta p_{ri} = \frac{\Delta M_{ri} g}{S_{Or} \left[1 + (\alpha_{pr} + \alpha_{cr})(t_{ri} - 20) \right] \left[1 + \lambda_r (p_o + p_i) \right]} + p_o \cdot (\alpha_{pr} + \alpha_{cr}) \cdot (t_{ro} - t_{ri})$$

En reprenant pour l'ensemble piston-cylindre à étalonner les mêmes notations sans l'indice R, sa section effective est calculée à partir de la formule :

$$S_{pi} = S_o \cdot \left[1 + \lambda (p_o + p_i) \right] = \frac{\Delta M_i g (1 - \rho_a / \rho_m)}{\left[\Delta p_{ri} - p_o (\alpha_p + \alpha_c) (t_o - t_i) \right] \left[1 + (\alpha_p + \alpha_c) \cdot (t_i - 20) \right]}$$

L'analyse des résultats moyens $S_p = f(p_o + p_i)$ permet de dégager deux 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 :

$$S_p = S_o \cdot \left[1 + \lambda (p_o + p) \right]$$

S_o et λ sont déterminés à partir de la droite 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° H0001/-
CALIBRATION DATE	8 APRIL 2019
CALIBRATION PERFORMED BY	BOULAY FLORIAN

REFERENCE PRESSURE		MASS APPLIED ON THE PISTON *	TEMP. OF THE ASSEMBLY	EFFECTIVE AREA	MEAN EFFECTIVE AREA	STANDARD DEVIATION OF THE MEAN (N = 5)
p_r		m	t	S_p	S_p	($N = 5$)
(MPa)	(bar)	(kg)	(°C)	(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)
0,100 000 5	1,000 005	0,000 000	20,0			
0,100 000 5	1,000 005	0,000 000	20,0			
0,100 000 5	1,000 005	0,000 000	20,0			
1,001 061	10,010 61	7,209 282	20,0	78,475 9	78,475 8	0,000 63
1,001 075	10,010 75	7,209 282	20,0	78,474 7		
1,001 050	10,010 50	7,209 282	20,0	78,476 9		
2,002 361	20,023 61	15,219 574	20,0	78,474 4	78,474 4	0,000 68
2,002 333	20,023 33	15,219 574	20,0	78,475 6		
2,002 390	20,023 90	15,219 574	20,0	78,473 3		
3,003 683	30,036 83	23,229 857	20,0	78,473 4	78,473 1	0,000 16
3,003 691	30,036 91	23,229 857	20,0	78,473 2		
3,003 704	30,037 04	23,229 857	20,0	78,472 8		
4,004 976	40,049 76	31,240 160	20,0	78,473 5	78,473 6	0,000 09
4,004 964	40,049 64	31,240 160	20,0	78,473 7		
4,004 963	40,049 63	31,240 160	20,0	78,473 7		
6,007 672	60,076 72	47,260 653	20,0	78,471 9	78,472 0	0,000 11
6,007 649	60,076 49	47,260 653	20,0	78,472 2		
6,007 674	60,076 74	47,260 653	20,0	78,471 9		

* 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° 1 defined in page 6 has been used:

Mean effective area

$$S_o = 78,472 7 \text{ mm}^2$$

Uncertainty of the mean effective area S_o :

$$U = 7,0 \times 10^{-5} \times S.$$

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° H0001/-
DATE DE L'ETALONNAGE	8 AVRIL 2019
ETALONNAGE REALISE PAR	BOULAY FLORIAN

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	(mm ²)
(MPa)	(bar)	(kg)	(°C)	(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)
0,100 000 5	1,000 005	0,000 000	20,0			
0,100 000 5	1,000 005	0,000 000	20,0			
0,100 000 5	1,000 005	0,000 000	20,0			
1,001 061	10,010 61	7,209 282	20,0	78,475 9		
1,001 075	10,010 75	7,209 282	20,0	78,474 7	78,475 8	0,000 63
1,001 050	10,010 50	7,209 282	20,0	78,476 9		
2,002 361	20,023 61	15,219 574	20,0	78,474 4		
2,002 333	20,023 33	15,219 574	20,0	78,475 6	78,474 4	0,000 68
2,002 390	20,023 90	15,219 574	20,0	78,473 3		
3,003 683	30,036 83	23,229 857	20,0	78,473 4		
3,003 691	30,036 91	23,229 857	20,0	78,473 2	78,473 1	0,000 16
3,003 704	30,037 04	23,229 857	20,0	78,472 8		
4,004 976	40,049 76	31,240 160	20,0	78,473 5		
4,004 964	40,049 64	31,240 160	20,0	78,473 7	78,473 6	0,000 09
4,004 963	40,049 63	31,240 160	20,0	78,473 7		
6,007 672	60,076 72	47,260 653	20,0	78,471 9		
6,007 649	60,076 49	47,260 653	20,0	78,472 2	78,472 0	0,000 11
6,007 674	60,076 74	47,260 653	20,0	78,471 9		

* 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° 1 défini à la page 7, soit :

Section effective moyenne

$$S_0 = 78,472 7 \text{ mm}^2$$

Incertitude de la section effective S₀ moyenne :

$$U = 7,0 \times 10^{-5} \times S.$$

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.

The value of the measured pressure corresponding to the mass of the piston and the associated tare for the conditions of the calibration is : $p_o = 0.999\ 21$ bar. That pressure has to be added to the pressure calculated for the mass applied on the piston by the means of the equation in page 4 of the Certificate :

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

For other environmental conditions (gravity g_L and temperature t_L), p_o has to be corrected using the following formula :

$$P_{oL} = P_o \cdot \frac{g_L}{g_{Ine}} \cdot \frac{[1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t - 20)]}{[1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t_L - 20)]}$$

SERIAL DEVICE NUMBER	PRESSURE BALANCE AREMECA N° H0001/-
CALIBRATION DATE	8 APRIL 2019
CALIBRATION PERFORMED BY	BOULAY FLORIAN

REFERENCE PRESSURE		MEASURED PRESSURE	PRESSURE DIFFERENCE	MEAN PRESSURE DIFFERENCE	EXP. STANDARD DEVIATION OF
p_r		p_m	$p_m - p_r$		$p_m - p_r$
(MPa)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)
0,100 001	1,000 01	0,999 21	-0,000 80		
0,100 001	1,000 01	0,999 21	-0,000 80	-0,000 80	0,000 000 017
0,100 001	1,000 01	0,999 21	-0,000 80		
1,001 061	10,010 61	10,010 97	0,000 36		
1,001 075	10,010 75	10,010 97	0,000 23	0,000 35	0,000 13
1,001 050	10,010 50	10,010 97	0,000 48		
2,002 361	20,023 61	20,024 02	0,000 41		
2,002 333	20,023 33	20,024 02	0,000 70	0,000 41	0,000 29
2,002 390	20,023 90	20,024 02	0,000 13		
3,003 683	30,036 83	30,037 06	0,000 23		
3,003 691	30,036 91	30,037 06	0,000 15	0,000 14	0,000 10
3,003 704	30,037 04	30,037 06	0,000 02		
4,004 976 3	40,049 763	40,050 12	0,000 36		
4,004 963 8	40,049 638	40,050 12	0,000 48	0,000 45	0,000 075
4,004 962 8	40,049 628	40,050 12	0,000 49		
6,007 672	60,076 72	60,076 10	-0,000 61		
6,007 649	60,076 49	60,076 10	-0,000 39	-0,000 55	0,000 14
6,007 674	60,076 74	60,076 10	-0,000 64		

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.

La pression engendrée par la balance et correspondant à la masse du piston et de la tare associée est, dans les conditions de l'étalonnage : $p_o = 0.999\ 21$ bar. Cette pression s'ajoute à la pression correspondant à la masse appliquée sur le piston et calculée à partir de l'expression donnée en page 5 du Certificat :

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

Pour d'autres conditions d'environnement (accélération g_L et température t_L), le terme p_o doit être corrigé à partir de l'expression suivante :

$$p_{oL} = p_o \cdot \frac{g_L}{g_{ine}} \cdot \frac{[1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t - 20)]}{[1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t_L - 20)]}$$

REFERENCE DE L'APPAREIL	BALANCE DE PRESSION AREMECA N° H0001/-
DATE DE L'ETALONNAGE	8 AVRIL 2019
ETALONNAGE REALISE PAR	BOULAY FLORIAN

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)
0,100 001	1,000 01	0,999 21	-0,000 80		
0,100 001	1,000 01	0,999 21	-0,000 80	-0,000 80	0,000 000 017
0,100 001	1,000 01	0,999 21	-0,000 80		
1,001 061	10,010 61	10,010 97	0,000 36		
1,001 075	10,010 75	10,010 97	0,000 23	0,000 35	0,000 13
1,001 050	10,010 50	10,010 97	0,000 48		
2,002 361	20,023 61	20,024 02	0,000 41		
2,002 333	20,023 33	20,024 02	0,000 70	0,000 41	0,000 29
2,002 390	20,023 90	20,024 02	0,000 13		
3,003 683	30,036 83	30,037 06	0,000 23		
3,003 691	30,036 91	30,037 06	0,000 15	0,000 14	0,000 10
3,003 704	30,037 04	30,037 06	0,000 02		
4,004 976 3	40,049 763	40,050 12	0,000 36		
4,004 963 8	40,049 638	40,050 12	0,000 48	0,000 45	0,000 075
4,004 962 8	40,049 628	40,050 12	0,000 49		
6,007 672	60,076 72	60,076 10	-0,000 61		
6,007 649	60,076 49	60,076 10	-0,000 39	-0,000 55	0,000 14
6,007 674	60,076 74	60,076 10	-0,000 64		

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	$1,2 \times 10^{-5} \times S$
Type B . Uncertainty due to the standard	$3,0 \times 10^{-5} \times S$
. Uncertainty due to the total applied mass	$7,7 \times 10^{-6} \times S$
. Uncertainty due to temperature ($\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$)	$1,0 \times 10^{-5} \times S$
. Uncertainty due to the verticality of the piston	$7,0 \times 10^{-7} \times S$
<u>Pressure</u>	
Type A . Repeatability	$13 \text{ Pa} + 8,0 \times 10^{-6} \times p$
Type B . Effective area	$3,5 \times 10^{-5} \times p$
. Gravity	$1,0 \times 10^{-7} \times p$
. Reference level ($\pm 3 \text{ mm}$)	$8,4 \text{ Pa}$
. Air buoyancy ($\pm 2 \%$ of ρ_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 mean effective area S_0 : **$U = 7,0 \times 10^{-5} \times S$**

Uncertainty of the pressure measured by the balance:
 $U = (25 \text{ Pa} + 6,9 \times 10^{-5} \times p)$

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	$1,2 \times 10^{-5} \times S$
Type B . Incertitude due à l'étalon	$3,0 \times 10^{-5} \times S$
• Incertitude sur la masse totale appliquée	$7,7 \times 10^{-6} \times S$
• Incertitude due à la température (± 2 °C)	$1,0 \times 10^{-5} \times S$
• Incertitude due à la verticalité du piston	$7,0 \times 10^{-7} \times S$
<u>Pression</u>	
Type A . Répétabilité	$13 \text{ Pa} + 8,0 \times 10^{-6} \times p$
Type B . Section effective	$3,5 \times 10^{-5} \times p$
• Accélération de la pesanteur	$1,0 \times 10^{-7} \times p$
• Niveau de référence (± 3 mm)	8,4 Pa
• Poussée de l'air (± 2 % de ρ_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 moyenne S_0 : $U = 7,0 \times 10^{-5} \times S$.

Incertitude sur la pression mesurée par la balance :
 $U = (25 \text{ Pa} + 6,9 \times 10^{-5} \times p)$.

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° 14290 du 28/01/2019

CERTIFICAT D'ÉTALONNAGE

N° P189881 / 1

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

INSTRUMENT ETALONNÉ

Désignation : **Masses de balance de pression**

Constructeur : **AREMECA**

Type : **250 g à 8 kg**

N° de série : **0001-1-01 à 11**

N° d'identification : **/**

Ce certificat comprend 3 pages

Date d'émission : **12 avril 2019**

LE RESPONSABLE
DU LABORATOIRE D'ÉTALONNAGE

Beaudoux

Florian BEAUDOUX

cofrac



ÉTALONNAGE

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

- 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 RESULTATS D'ÉTALONNAGE AU SYSTEME INTERNATIONAL D'UNITES (SI).

Suite du certificat page suivante

ÉTALONNAGE DE POIDS OU DE MASSES ÉTALONS

Date de l'étalonnage : 12 avril 2019

Étalonnage réalisé par : CHALAIN Philippe

Résultat(s) de l'étalonnage

IDENTIFICATION DU POIDS OU DE LA MASSE ETALON				MASSE CONVENTIONNELLE		INCERTITUDE ELARGIE (k=2)	INTER- VENTION
BH3-1200	8	kg	0001-1-01	8,011 48	kg	± 0,12 g	-
BH3-1200	8	kg	0001-1-02	8,011 47	kg	± 0,12 g	-
BH3-1200	8	kg	0001-1-03	8,011 49	kg	± 0,12 g	-
BH3-1200	8	kg	0001-1-04	8,011 49	kg	± 0,12 g	-
BH3-1200	7,2	kg	0001-1-05	7,210 35	kg	± 0,11 g	-
BH3-1200	4	kg	0001-1-06	4,005 660	kg	± 60 mg	-
BH3-1200	1,6	kg	0001-1-07	1,602 285	kg	± 24 mg	-
BH3-1200	1,6	kg	0001-1-08	1,602 282	kg	± 30 mg	-
BH3-1200	800	g	0001-1-09	801,150	g	± 12 mg	-
BH3-1200	400	g	0001-1-10	400,574 3	g	± 6,0 mg	-
BH3-1200	250	g	0001-1-11	248,773 8	g	± 2,4 mg	-

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

Fin du certificat