

Comparaison entre les mesures de pression atmosphérique du baromètre numérique et celles du mercure

Islam BOUSRI ^{1*}, Salah SAHABI ¹

Abstract

Dans l'assistance aéronautique les données de pression sont d'une importance primordiale pour l'atterrissage d'un aéronef. Le QNH est le code aéronautique indiquant la pression atmosphérique ajustée au niveau moyen de la mer. Elle est utilisée pour le calage altimétrique afin de régler la position de l'échelle secondaire d'un altimètre pour qu'il indique la hauteur d'un aéronef au-dessus d'une surface de référence connue.

Dans ce travail, nous avons réalisé une étude comparative entre les mesures de la pression QNH issues de deux baromètres numérique et à mercure placés dans les mêmes conditions au niveau d'un d'une station d'observation appartenant au réseau de l'Office National de la Météorologie. Les analyses statistiques descriptives ainsi que des tests de comparaison ont été menés. Les résultats des tests statistiques ont montré l'existence d'une différence significative entre les deux baromètres.

Keywords

OACI , OMM , statistiques descriptives , t test , F test , JB , Wilcoxon, apparier skewness , kurtosis , QNH, non paramétrique

¹ Office national de la météorologie , Dar El Beida, Alger

*Correspondant: bousri.islam@gmail.com

Contents

1	Introduction:	1
2	Méthode	2
2.1	2.1. Test de Jarque-Bera :	2
2.2	2.2. Test de Fisher :	2
2.3	2.3. Test de Levene :	2
2.4	2.4. Test de Student:	2
2.5	2.5. Test de Wilcoxon :	2
2.6	2.6 Effet Size et pourcentage de différence:	2
3	Résultats et discussions	3
3.1	3.1. Analyse descriptive :	3
3.2	3.2. Test de comparaison	4
4	Conclusion:	5
	References	5

1. Introduction:

La pression atmosphérique est l'un des principaux paramètres météorologiques qui caractérise l'état de l'atmosphère à un moment donné. Elle est mesurée par un baromètre qui existe en plusieurs types (eau, mercure, gaz, anéroïdes, enregistreurs, numérique). Le mercure dégage des vapeurs très toxiques à l'état libre ce qui a conduit certains pays à interdire la manutention ou le transport des baromètres à mercure. L'interdiction de l'utilisation de mercure a été renforcée dans le cadre de la convention de Minamata sur le mercure, un traité international interdisant la fabrication et le commerce de produits au mercure après 2020.

Cette convention est entrée en vigueur, quatre ans après sa signature le 16 août 2017. Elle prévoit l'élimination progressive de tous les produits contenant du mercure d'ici 2020, sauf dans quelques cas spécifiques, auxquels les États signataires ont décidé d'octroyer une exemption spéciale de cinq ans. C'est pour cette raison et autres que le baromètre à mercure est de moins en moins utilisés [1]. Le guide des instruments et des méthodes d'observation météorologique de l'OMM accorde une grande importance de comparaison de baromètres pour garantir l'uniformité des normes nationales auxquelles doivent répondre les instruments de mesure de la pression et aussi l'homogénéité des données barométriques à l'échelle mondiale [1]. Dans l'annexe 3, la convention relative à l'aviation civile internationale, l'OACI recommande l'installation des systèmes automatiques au niveau des aérodromes [2]. Pour répondre aux recommandations de l'OACI et respecter les instructions de l'OMM concernant l'importance de comparaison des baromètres avant tout remplacement et changement, nous avons proposé une approche statistique de comparaison des deux séries relevées par le baromètre à mercure et celui numérique basée sur le Test de Student (test t) et Wilcoxon [3][4] pour les échantillons appariés. Ces tests sont utilisés dans différents domaines. Wallick, Michael D 1998 ont utilisé le test de Student pour examiner les effets d'un programme de corde à tirer sur le rendement des élèves avant et après le programme. Les résultats de l'effet de ce programme ont révélé une différence significative en faveur de la réussite des élèves dans les deux modules lecture et citoyenneté. Par contre aucune différence significative est enregistrée entre les deux groupes appariés pour les

modules écriture et mathématiques [5]. Ce Test de Student apparié est aussi utilisé dans le domaine de la médecine lorsqu'on effectue des mesures avant et après une intervention ou en même temps sur différents sites chez le même patient [6]. Le test Wilcoxon matched-pair signed rank 1945 est un test non paramétrique qui est souvent considéré comme similaire au test t de Student pour les paires appariées, mais il est utilisé pour les données ordinales ou les données qui violent gravement tout semblant de distribution normale [7]. Ces tests ont été utilisés dans le présent travail afin de rechercher l'existence d'une éventuelle différence significative entre les deux types de baromètres. L'objectif de ce travail est de réaliser une étude comparative entre les mesures de la pression QNH obtenues par un baromètre numérique par rapport à celles obtenues par un baromètre à mercure placés tous les deux dans les mêmes conditions. Nous avons utilisé pour cette étude un échantillon d'un mois de données.

2. Méthode

Sont décrit, ci-dessous, les méthodes et les tests utilisés dans cet article.

2.1. Test de Jarque-Bera :

Publié en 1980 par Carlos Jarque et Anil K. Bera, le Test de Jarque-Bera est une approche non paramétrique permettant de tester si une variable continue X suit une loi normale [8]. Le test de Jarque-Bera (JB) se base sur le coefficient d'asymétrie skewness S et le coefficient d'aplatissement kurtosis K.

- La statistique de test est alors donnée :

$$JB = n - k \left(S^2 + \frac{(k-3)^2}{4} \right)$$

Elle suit une loi du X^2 (2) à deux degrés de liberté et l'hypothèse H_0 est: la variable suit une loi normale.

2.2. Test de Fisher :

Le Test de Fisher (F), est un test d'hypothèse qui permet de tester l'égalité de deux variances en faisant le rapport des deux variances et en vérifiant que ce rapport ne dépasse pas une certaine valeur théorique.

Pour le modèle probabiliste de moyenne U et écart-type σ on considère deux échantillons indépendants.

- (X_1, \dots, X_n, x) suite une loi $N(U_x, \sigma_x^2)$
- (Y_1, \dots, Y_n, y) suite une loi $N(U_y, \sigma_y^2)$ Le but du test de Fisher est de tester cette hypothèse :

$$H_0 : \sigma_x^2 = \sigma_y^2 \dots \dots (2)$$

2.3. Test de Levene :

Publié en 1960 par Howard Levene [9]. Le test de Levene est un test robuste et largement utilisé pour détecter l'hétérogénéité de la variance. Il ne tient pas compte des dépendances linéaires entre les variables concernées. Il est robuste au non-respect de la normalité des données. Ce qui en fait une très bonne alternative au test de Fisher [9].

2.4. Test de Student:

Le Test de Student et la loi de probabilités qui lui correspond ont été publiés en 1908 dans la revue Biometrika par William Gosset [3]. Le test (t) apparié permet de comparer la moyenne de deux séries de valeurs ayant un lien. Pour comparer les moyennes de deux séries appariées, on calcule tout d'abord la différence des deux mesures pour chaque paire.

Soit (d) la série des valeurs correspondant aux différences des mesures entre les paires de valeurs. La moyenne de la différence (d) est comparée à la valeur 0. S'il y a une différence significative entre les deux séries appariées, la moyenne de (d) devrait être très éloignée de la valeur 0 La valeur (t) de Student est donnée par la formule :

$$t = \left(\frac{m}{s/\sqrt{x}} \right) \dots (3)$$

(m) et (s) représentent la moyenne et l'écart-type de la différence (d). n'est la taille de la série (d).

2.5. Test de Wilcoxon :

Il a été proposé par Frank Wilcoxon en 1945 [4]. C'est une alternative au test de Student pour des échantillons appariés. Il s'agit d'une procédure de test non paramétrique pour l'analyse de données appariées. Il vise à chercher l'existence d'un changement du paramètre de position (la médiane θ). Dans deux échantillons X_i, Y_i pour chaque sujet i On note F_i la loi $Z_i := Y_i - X_i$

$$F_i(\theta + t) + F_i(\theta - t) = 1 \dots (4)$$

L'hypothèse nulle est : $H_0 = \theta - t = 1$
La statistique de test de Wilcoxon :

$$T_{+} = \sum_{i=1}^k Ri Di \dots \dots (5)$$

Ri et le range de $|Z_i|$ et $Z_i Di = 1$ si $Z_i > 0$ si non = -1

2.6 Effet Size et pourcentage de différence:

Par définition, Effet Size (ES) est la force de la relation entre deux variables. Il est exprimé par la différence des moyennes sur l'écart-type commun aux deux groupes.

$$\frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma}$$

Où μ_1 et μ_0 sont respectivement les moyennes observées des groupes traités et contrôle, θ et une estimation de l'écart-type.

Si $0.2 < ES < 0.5$: la différence est petite
 Si $0.5 < ES < 0.8$: la différence est modérée
 Si $ES > 0.8$: la différence est grande
 Effet Size ne s'applique pas lorsque la distribution n'est pas normale Pour les tests non paramétriques on parle plutôt de pourcentage de différence :

$$\% \text{ Différence} = \left(\frac{\mu^1 - \mu^0}{\sigma} \right) \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

3. Résultats et discussions

Afin de réaliser cette étude de comparaison, nous avons utilisé un échantillon d'un mois de données d'observations horaires de pression atmosphérique mesurées par les deux baromètres numérique et à mercure installés à la station d'aérodrome de Dar El Beida (DAAG). Les données utilisées concernent le mois d'avril 2017.

Pour avoir une vue globale sur notre série des différences absolues des deux baromètres (D), nous avons commencé par une analyse statistique descriptive dans laquelle nous avons estimé quelques percentiles de ces différences. Ensuite, nous avons visualisé la série des écarts (D) pour toute la période d'étude

La série D est égale à la valeur de la pression numérique moins la valeur de la pression à mercure.

$$D = QNH(N) - QNH(M) \dots \dots \dots (7)$$

Ensuite, nous avons procédé à une comparaison entre les deux baromètres en deux phases en séparant les mesures de la journée de celles de la nuit pour prendre en considération toute hétérogénéité liée au facteur humain. En effet, les mesures de la journée ont été prises par une même personne qui est le chef de station. Par contre, la nuit, l'observation est faite par les personnes assurant la relève.

La méthodologie suivie est illustrée par la figure 1 et décrite comme suit : Nous avons d'abord testé la normalité des observations de la série D.

Dans le cas où elles sont normalement distribuées nous allons ensuite vérifier l'homogénéité des variances en utilisant les tests de Fisher.

Si les observations de la série D suivent une loi normale et les variances des deux baromètres sont homogènes on utilise, dans ce cas, le test paramétrique de Student pour les données appariées (test t apparié) pour voir s'il y a une différence significative ou pas.

Dans le cas où les différences ne suivent pas une loi normale, le test non paramétrique de Wilcoxon signé sera l'alternatif de Test de Student pour voir s'il y a une différence significative entre les deux baromètres. Pour ce cas, et afin d'avoir une idée sur l'homogénéité des variances, nous avons utilisé le test de Leven même si le Test de Wilcoxon signé suffira pour trancher sur l'existence d'une différence significative.

Table 1. Valeurs des percentiles

Percentile	Valeur
Max 100	0.900
99	0.600
95	0.400
90	0.300

3.1. Analyse descriptive :

L'analyse de la figure de la fonction de répartition montre que :

- plus de 40% des différences sont nulles.
- presque 90% des différences sont inférieures à 0.2 mb
- et moins de 1% sont supérieures à 0.6 mb

Les baromètres sont étalonnés et placés selon les normes figurant dans les conventions barométriques internationales. Dans des conditions normales, un baromètre devrait théoriquement donner des lectures exactes de pression.

Dans l'analyse des percentiles (Tableau 1 et Fig. 2), nous avons observé dans la plupart des cas des légères diffusions entre les deux types de baromètres qui ne dépassent pas en globalité 0.2 mb. Cependant, une exception est faite aux journées de 3 et 28 avril où nous avons enregistré des écarts importants égaux en valeurs absolues 0.9 et 0.7, respectivement (voir figure 3). Ce qui correspond, en terme de hauteur, à 7.2 et 5.6 mètres.

Afin de chercher les causes de ces écarts importants, nous avons consulté le guide des instruments et des méthodes d'observation de l'OMM [1]. Effectivement, ce guide évoque quelques défauts et imprécisions liées au baromètre à mercure. Parmi ces défauts, nous pouvons distinguer deux, pour notre cas, qui peuvent expliquer ces écarts importants. Le premier défaut, concerne le temps de réponse du baromètre à mercure qu'est vraiment long par rapport à celui du numérique. Le deuxième, qui est mentionné dans le chapitre 3.2.6, est lié à l'exactitude générale des lectures de pression [1]. Ceci, nous a permis d'avancer que l'apparition d'un pic de dépression dans une série des observations à mercure ne signifie pas une dépression réelle, vu que le temps de réponse du baromètre à mercure est long. C'est le cas de la journée du 3 avril à 13h qui est sûrement où l'écart est dû à une mauvaise lecture ou bien à une erreur de retranscription.

Contrairement au baromètre à mercure, un pic de dépression observé dans une série à baromètre numérique peut être une réelle dépression. C'est le cas de la situation du 28 avril à 18h00. Cela est facilement confirmé par le carnet d'observation où nous avons enregistré une rafale de vent, à la même heure, qui est le résultat et la preuve d'un passage d'un grain météorologique caractérisé par une chute soudaine de pression (dépression instantanée) (figure 4).

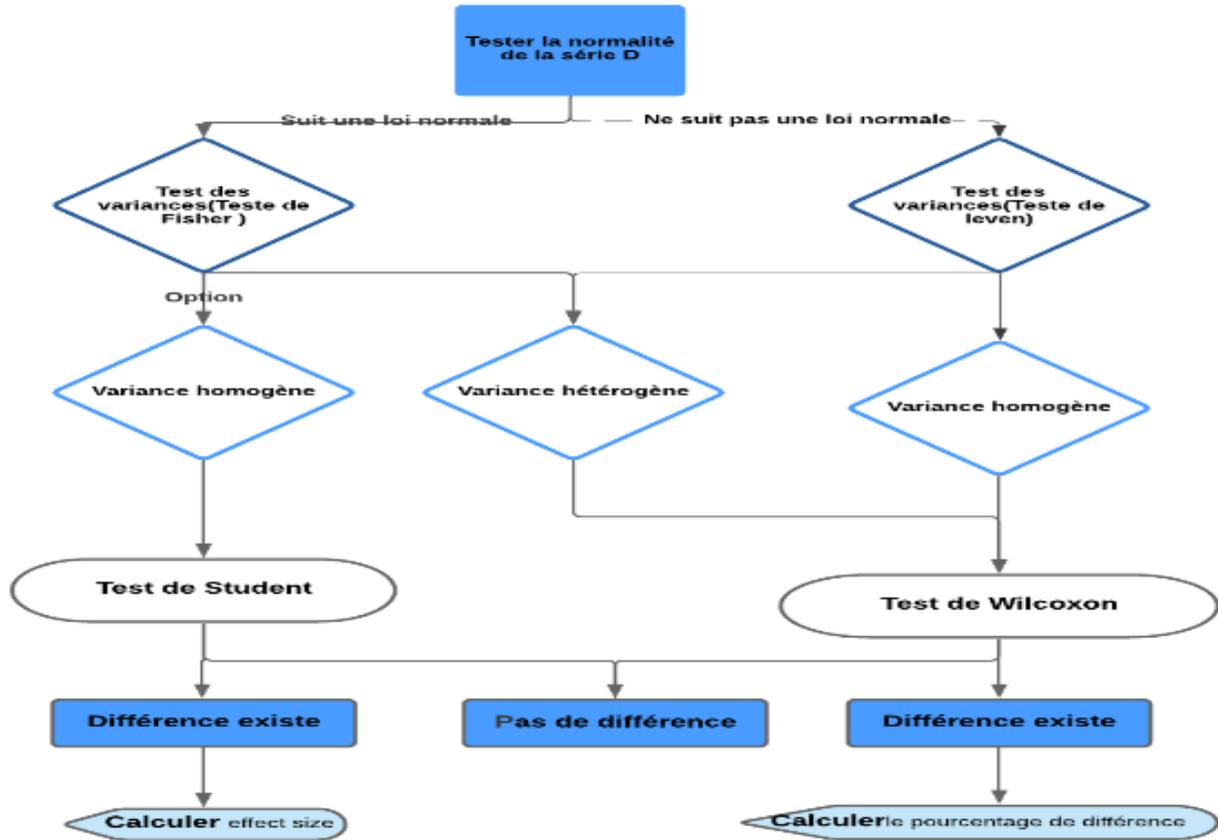


Figure 1. Schéma représentant la méthodologie suivie pour la comparaison

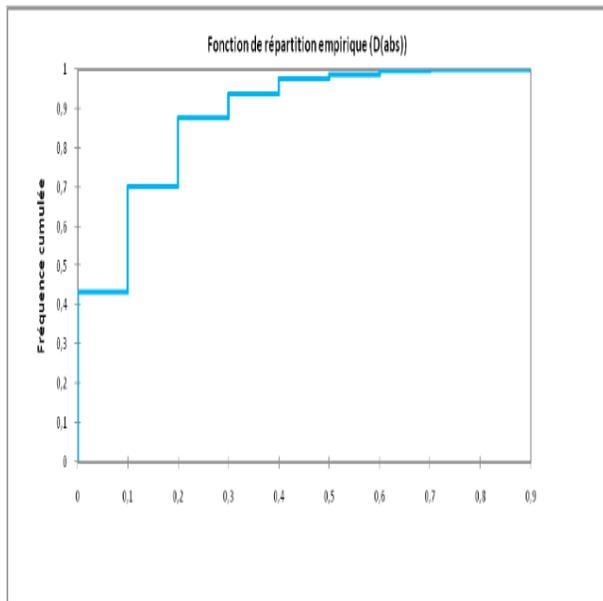


Figure 2. Fonction de répartition de la valeur absolue de la série |D|

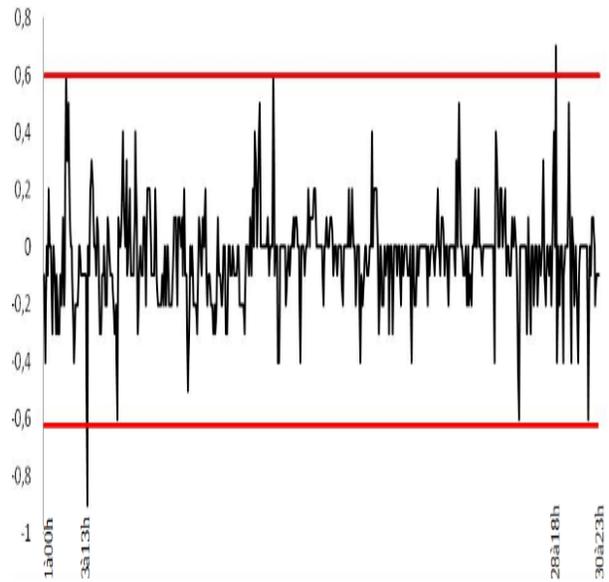


Figure 3. Evolution horaire des écarts de la série D au cours du mois d'avril 2017.

3.2. Test de comparaison

L'hypothèse nulle H_0 du test Jarque-Bera est H_0 : L'échantillon suit une loi Normale.

DATE : Vendredi 28 AVRIL 2017

HEURE DU JOUR	TOUR D'HORIZON									
	VENT (d et f)					VISIBILITE	PHENOMENES	W		C
	Direction	Vitesse	Direction	Vitesse	en km/h			en m/s	en km/h	
de la brise	m/s	des rafales	en km/h	en m/s	en km/h	en m/s	en km/h	en m/s		
00		08	01	16	0700	58				
01		08	04	16	0600	58				
02		08	04	16	0600	58				
03		09	04	17	0600	56				
04		09	04	17	0600	56				
05		10	04	19	0600	59				
06		11	06	21	0600	59				
07		07	06	19	1000	60				
08		28	06	25	7000	60				
09		28	06	25	7000	60				
10		70	05	30	7000	60				
11		70	04	23	7000	60				
12		70	04	23	7000	60				
13		70	04	23	7000	60				
14		79	06	28	1000	60				
15		11	05	21	1000	60				
16		10	06	20	0800	58				
17		06	05	17	1000	60				
18		08	05	18	1000	60				
19		08	06	16	1000	60				

Figure 4. Carnet d'observation du 28 avril 2017 élaboré par la station de Dar El Beida.

Étant donné que le p-value calculé est supérieur au niveau de signification seuil $\alpha=0.05$, on peut valider l'hypothèse nulle H_0 . Ce que revient à dire que la série D suit une loi normale.

Pour le test F de Fisher, l'hypothèse nulle H_0 : Le rapport entre les variances est égal à 1. La p-value calculée est égale à 0.979 qui est supérieure au niveau de signification α . Donc les variances sont homogènes. Dans le test t, la p-value calculée est inférieure du niveau de signification α (0.05). Donc nous allons rejeter l'hypothèse nulle H_0 : la différence entre les moyennes est égale à 0 ; et nous allons retenir l'hypothèse alternative H_1 : il existe une différence significative entre les deux baromètres .

L'Effet size ES obtenu est égal à 0.009 qui est largement inférieur à 0.1. Ce qui signifie que la différence entre les deux baromètres est relativement faible.

En ce qui concerne le test de Wilcoxon signé, la p-value est inférieur au niveau de signification α (0.05). Cela veut dire que durant la nuit, une différence significative entre les deux baromètres a été conclue. Le pourcentage de différence calculé est égal à 0.01% qui est considéré très faible.

4. Conclusion:

Une étude de comparaison entre les mesures de pression atmosphérique du baromètre numérique et celle du mercure a été réalisée. L'estimation des percentiles montre que dans plus de 40% des cas, les deux baromètres ont donné la même valeur. Environ, 90% des différences calculées étaient inférieures à 0.2 mb. Les résultats issus de cette comparaison ont révélé une différence relativement faible entre les deux séries des deux types de baromètres.

Cette étude permet, aussi, de mettre en évidence l'efficacité du baromètre numérique dans la détection des chutes brusques de pression, un phénomène météorologique souvent observé dans les stations lors de passage des dépressions, comme le cas de la journée de 28 avril. Ce qui n'est pas

le cas pour le baromètre à mercure qui dispose d'un temps de réponse long.

Nous avons constaté lors de passage au-dessus d'une station météorologique d'une dépression rapide (grain par exemple), une mauvaise appréciation de la mesure de pression pourrait atteindre un écart de presque 1 mbar soit l'équivalent de 8 mètres d'altitude ; une erreur importante notamment lorsqu'il s'agit de l'utiliser pour assister un aéronef lors de son atterrissage.

En conclusion, d'après les échantillons analysés, statistiquement, en temps normal, aucun différence n'est à déplorer entre le baromètre numérique et celui à mercure installés dans la station météorologique d'Alger Dar El beida.

Mieux encore, le baromètre numérique possède un temps de réponse plus important que celui à mercure dans les conditions extrêmes de pression.

References

- [1] OMM. Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques. 1983.
- [2] Annexe OACI. de la convention relative à l'aviation civile internationale, télécommunications aéronautiques, vol. iii, communication systems (part i-digital data communication systems, part ii-voice communication systems), july 2007, 10.
- [3] Sandy L Zabell. On student's 1908 article "the probable error of a mean". *Journal of the American Statistical Association*, 103(481):1-7, 2008.
- [4] Frank Wilcoxon. Some uses of statistics in plant pathology. *Biometrics Bulletin*, 1(4):41-45, 1945.
- [5] Michael D Wallick. A comparison study of the ohio proficiency test results between fourth-grade string pullout students and those of matched ability. *Journal of Research in Music Education*, 46(2):239-247, 1998.
- [6] Betty R Kirkwood and Jonathan AC Sterne. *Essential medical statistics*. John Wiley & Sons, 2010.
- [7] Thomas W MacFarland and Jan M Yates. Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test. In *Introduction to Non-parametric statistics for the biological sciences using R*, pages 133-175. Springer, 2016.
- [8] Carlos M Jarque and Anil K Bera. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics letters*, 6(3):255-259, 1980.
- [9] WGS Hines and RJ O'Hara Hines. Increased power with modified forms of the levene (med) test for heterogeneity of variance. *Biometrics*, 56(2):451-454, 2000.

Table 2. Test de comparaison entre les deux baromètres durant la journée

Test de Jarque-Bera (D)	Test F de Fisher	éTest t
JB (Valeur observée) = 1,043	F (Valeur observée) = 1,006	t (Valeur observée) = -2,002
JB (Valeur critique) = 5,991	F (Valeur critique) = 1,519	t (Valeur critique) = 1,987
P-value = 0,594	P-value = 0,979	P-value = 0,048
Alpha = 0,05	Alpha = 0,05	Alpha = 0,05

Table 3. Test de comparaison entre les deux baromètres durant la nuit.

Test de Jarque-Bera (D)	Test de Levene	Test de Wilcoxon signé
JB (Valeur observée) = 16,710	F (Valeur observée) = 0,009	V = 325
JB (Valeur critique) = 5,991	F (Valeur critique) = 3,921	Espérance [Variance= 637 10639
P-value = 0,000	P-value = 0,926	P-value = 0,002
Alpha = 0,05	Alpha = 0,05	Alpha = 0,05