



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
\*\*\*\*\*  
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE  
D'ANTANANARIVO  
\*\*\*\*\*  
MENTION METEOROLOGIE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES  
EN VUE DE L'OBTENTION DU  
DIPLOME DE LICENCE EN METEOROLOGIE

**Intitulé :**



**Présenté par :** *WAKIDOU Ankidine Zakaria*

**Date de soutenance:** *30 Mai 2017*

*Promotion 2016*





UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
-----  
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE  
D'ANTANANARIVO  
-----  
MENTION METEOROLOGIE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES  
en vue de l'obtention du  
DIPLOME DE LICENCE EN METEOROLOGIE

Intitulé :

**« REALISATION D'UN TEST PARAMETRIQUE D'UNE SERIE DE MESURES  
DE PRESSION ATMOSPHERIQUE ISSUE DES BAROMETRES A MERCURE  
ET AUTOMATIQUE »  
Cas de la station d'Ampandrianomby**

Membres du jury :

**Président:** Monsieur *RAKOTOVAZAH* *Olivier*, Responsable de la mention  
Météorologie

**Examineurs:**

Madame *RAMAROSANDRATANA Mamiarisoa Anzelà*, Chef de Service  
Régionale de la Météorologie Analamanga et Enseignant au sein de la mention Météorologie

Monsieur *RAVELOMANANTSOA SitraKa*, Chef du Service de l'Informatique et de la  
Banque des Données à la DGM

Monsieur *RANDRIANARINDRINA Solomamy Olive*, Enseignant au sein de la  
mention Météorologie

**Directeur de Mémoire:** Monsieur *RAKOTONDRA SOA Ríjaníaina*, Enseignant au  
sein de la mention Météorologie

*Promotion 2016*

## REMERCIEMENTS

Louange à <<*ALLAH*> notre créateur qui nous a incités à acquérir le savoir. C'est à lui que j'adresse tout ma gratitude en premier lieu.

Mes remerciements sont adressées à:

- ✓ Monsieur *ANDRIANAHARISON Yvon*, Directeur de l'École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, qui a aimablement autorisé la soutenance de notre mémoire et de nous avoir accepté en tant qu'étudiant dans son Etablissement;

A chacun des membres du jury:

- ✓ Monsieur *RAKOTOVAZAH Olivier*, Chef de la mention Météorologie qui n'a pas ménagé ses efforts et ses compétences pour le bon déroulement de notre formation et pour le grand honneur qu'il nous fait en acceptant de présider la soutenance de ce mémoire;
- ✓ Madame *RAMAROSANDRATANA Mamiarisoa Anzelà*, Chef de Service Régionale de la Météorologie Analamanga et Enseignant au sein de la mention Météorologie qui a honorablement accepté d'être parmi les examinateurs pour apporter ses appréciations et ses critiques afin d'améliorer ce travail;
- ✓ Monsieur *RAVELOMANANTSOA Sitraka*, Chef du Service de l'Informatique et de la Banque des Données à la DGM et Monsieur *RANDRIANARINDRINA Solomamy Olive*, Enseignant au sein de la mention Météorologie qui ont bien voulu accepter d'examiner ce travail et de siéger comme membres du jury;
- ✓ Monsieur *RAKOTONDRA SOA Ríjaníaina*, Enseignant au sein de la mention Météorologie et, qui a bien accompli son rôle de directeur de mémoire et n'a pas économisé son temps pour nous guider dans nos tâches;
- ✓ A Tous les Enseignants au sein de la mention Météorologie qui ont contribué à notre formation, servant de base dans la mise en œuvre de cette étude ;

Enfin, je transmets mes vifs remerciements à mes amis et collègues et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire, en particulier à :

- ✓ A ma chère famille qui m'a toujours soutenue moralement et financièrement durant mes études.

Nous vous réitérons nos vifs remerciements

# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS .....	
SOMMAIRE .....	
INTRODUCTION .....	
PARTIE I: CONTEXTE GENERAL.....	
I.1 Présentation du lieu d'étude .....	
I.1.1 Historique .....	
I.1.2 Organisation.....	
I.1.3 Missions .....	
I.1.4 Organigramme de la Direction Générale de la Météorologie Malagasy .....	
I.2 Généralités .....	
I.2.1 Pression atmosphérique .....	
PARTIE II: MATERIELS ET METHODES UTILISES .....	
II.1 Instruments de mesure utilisés.....	
II.1.1 Station automatique.....	
II.1.2 Baromètre à mercure .....	
II.2 Fonctionnement et méthodes de mesure utilisées .....	
II.2.1 Baromètre de la station automatique.....	
II.2.2 Baromètre à mercure .....	
II.2.3 Méthodologie.....	
PARTIE III: RESULTATS ET INTERPRETATIONS .....	
III.1 Résultats .....	
III.1.1 Résultats de la comparaison des données de pressions relevées à la Station d'Ampandrianomby sur un trimestre .....	
III.2 Interprétations .....	
III.2.1 Mois d'Août.....	
III.2.2 Mois de Septembre .....	
III.2.3 Mois d'Octobre .....	
CONCLUSION GENERALE .....	

## LISTE DES ABREVIATIONS

DGM: Direction Générale de la Météorologie Malagasy

ESPA: Ecole Supérieure Polytechnique d'Anatananarivo

GNU: GNU's Not UNIX

IOM: Instruments and Observing Methods

OMM: Organisation Météorologique Mondiale

SMHN: Services Météorologiques et Hydrologiques Nationaux

## LISTE DES SYMBOLES

$^{\circ}\text{C}$ : Degré Celsius

$A$ : Superficie effective

$B$ : Valeur indiquée par le baromètre

$C_t$ : Correction de température

Hg: Mercure

hPa: Hectopascal

kg: Kilogramme

m: Mètre

mbar: Millibar

mm: Millimètre

N: Newton

Pa: Pascal

$t$ : Température

$V$ : Volume total du mercure dans le baromètre

$\alpha$ : Coefficient de dilatation cubique du mercure

$\beta$ : Coefficient de dilatation linéaire de l'échelle

$\eta$ : Coefficient de dilatation linéaire de la cuvette

$\mu$ : Moyenne mensuelle

$\sigma$ : Variance

## LISTE DES FIGURES

Figure 1:	Siège de la Direction Générale de la Météorologie .....	3
Figure 2:	Organigramme de la DGM .....	5
Figure 3:	L'atmosphère terrestre.....	6
Figure 4:	Origine de la pression atmosphérique .....	7
Figure 5:	Expérience du crève vessie .....	8
Figure 6:	Expérience du verre rempli d'eau .....	8
Figure 7:	Expérience des hémisphères de Magdebourg.....	9
Figure 8:	Station automatique CR 1000 d'Ampandrianomby .....	12
Figure 9:	Boite comportant le système central de fonctionnement de la station CR 1000 de la DGM.....	13
Figure 10:	Capteur de température .....	13
Figure 11:	Capteur de l'humidité .....	14
Figure 12:	Anémomètre et girouette .....	14
Figure 13:	Pluviomètre .....	14
Figure 14:	Capteur de la pression atmosphérique.....	15
Figure 15:	Baromètre à mercure.....	16
Figure 16:	Expérience de TORRICELLI.....	18
Figure 17:	Représentation des pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique de la DGM pour le mois d'Août .....	26
Figure 18:	Présentation de la pression moyenne provenant du baromètre à mercure de la DGM par rapport à la loi normale pour le mois d'Août .....	26
Figure 19:	Présentation de la pression moyenne provenant du baromètre automatique de la DGM par rapport à la loi normale pour le mois d'Août .....	27
Figure 20:	Tendance de la pression atmosphérique moyenne provenant du baromètre à mercure de la DGM pour le mois d'Août .....	27
Figure 21:	Tendance de la pression atmosphérique moyenne provenant du baromètre automatique de la DGM pour le mois d'Août .....	28
Figure 22:	Représentation des pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique de la DGM pour le mois de septembre .....	33
Figure 23:	Présentation de la pression moyenne provenant du baromètre à mercure de la DGM par rapport à la loi normale pour le mois de Septembre .....	33
Figure 24:	Présentation de la pression moyenne provenant du baromètre automatique de la DGM par rapport à la loi normale pour le mois de Septembre .....	34
Figure 25:	Tendance de la pression atmosphérique moyenne provenant du baromètre à mercure de la DGM pour le mois de Septembre .....	34
Figure 26:	Tendance de la pression atmosphérique moyenne provenant du baromètre automatique de la DGM pour le mois de Septembre .....	35

Figure 27: Représentation des pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique de la DGM pour le mois d'Octobre .....	40
Figure 28: Présentation des pressions moyennes provenant du baromètre à mercure de la DGM par rapport à la loi normale pour le mois d'Octobre .....	40
Figure 29: Présentation de la pression moyenne provenant du baromètre automatique de la DGM par rapport à la loi normale pour le mois d'Octobre .....	41
Figure 30: Tendances de la pression atmosphérique moyenne provenant du baromètre à mercure de la DGM pour le mois d'Octobre .....	41
Figure 31: Tendances de la pression atmosphérique moyenne provenant du baromètre automatique de la DGM pour le mois d'Octobre .....	42

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique de la DGM pour le mois d’Août.....	26
Tableau 2 : Pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique de la DGM pour le mois de Septembre.....	33
Tableau 3 : Pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique de la DGM pour le mois d’Octobre.....	40

## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I: Relevé du Mois d'Août .....	C
ANNEXE II: Relevé du mois de Septembre .....	E
ANNEXE III: Relevé du mois d'Octobre.....	G
ANNEXE IV: Exemple de calcul sur l'expérience du verre rempli d'eau pour la démonstration de l'existence de la pression atmosphérique .....	I
ANNEXE V: Table de Fischer-Snedecor.....	J
ANNEXE VI: Table de la loi normale.....	K

# INTRODUCTION

L'élargissement des applications de la Météorologie au service du bien-être de l'homme nécessite des besoins accrus concernant la précision des données, la fréquence rapprochée des observations et une plus grande densité des réseaux de stations d'observations. Il est évident que les moyens traditionnels ne sont plus suffisants pour faire face aux tâches opérationnelles actuelles de la météorologie.

Les données d'un même paramètre (pression) provenant de deux appareils différents l'un à usage manuel et l'autre automatique, se trouvant dans une même station et à la même altitude nous incitent à vérifier « l'homogénéité » ou « l'existence d'une différence significative » des moyennes de ces deux séries de données par l'utilisation d'un test paramétrique. Comment devons-nous s'y prendre pour réussir à faire une vérification complète et convaincante ?

Pour pouvoir aboutir à la résolution de cette problématique, il faut d'abord s'interroger : Quel est le lieu d'étude (son historique, ses missions, son hiérarchie) ? Etant donné que ce sont la quantité des données et la durée d'évaluation qui garantissent des résultats probants, quels seront nos procédures de vérification et d'évaluations de ces deux séries de données ? Jusqu'où s'élancent les résultats ? Ainsi, nous allons traiter les généralités de l'étude, les matériels et les méthodes de mesure utilisés mais aussi voir les différents résultats et interprétations ?

## **PARTIE I: CONTEXTE GENERAL**

## I.1 Présentation du lieu d'étude <sup>[1]</sup>

### I.1.1 Historique

La Direction Générale de la Météorologie Malagasy est l'office national chargé des activités météorologiques et climatologiques du pays. Son siège social se situe à Ampandrianomby (Antananarivo) dans un quartier portant son nom de l'institution « Météo ». Elle est directement rattachée au Ministère des transports et de la météorologie. Afin de remplir pleinement sa mission, Madagascar par la voix de la DGM, adhère à l'organisation météorologique mondiale le 15 décembre 1960.



Figure 1: *Siège de la Direction Générale de la Météorologie*

### I.1.2 Organisation

La Direction Générale de la Météorologie Malagasy, au cours cette dernière décennie, traverse trois étapes de réorganisation distincte. Sa première année d'existence en tant que direction générale était assez houleuse en termes d'ajustement structurel fondé sur de multiples tâtonnements trimestriels d'organisation et de changement de tutelles. Depuis le décret n° 2002-803 du 07 Août 2002, l'organisation du Ministère des Transports et de la Météorologie a marqué le début de sa stabilité organisationnelle et vécue actuellement, bien que son ministère de tutelle ait dû accomplir différentes missions et changer de secteurs sous tutelle et à maintes reprises. Actuellement, elle est appariée avec les transports.

### I.1.3 Missions

Comme l'atmosphère ignore toute forme de frontière, le métier dans le domaine de la météorologie est connexe et est accompli à caractère intergouvernemental qu'interrégional et sous une coordination mondiale à travers l'Organisation Météorologique Mondiale ou OMM. La Convention de l'OMM, adoptée le 11 octobre 1947 et révisée en 2007, a réaffirmé que la mission des Services météorologiques et hydrologiques nationaux ou SMHN dont la Direction générale de la Météorologie est en charge. Ses fonctions revêtent une importance décisive pour ce qui concerne l'observation et la compréhension des conditions météorologiques et climatiques ainsi que la prestation de services météorologiques, hydrologiques et connexes nécessaires pour répondre aux besoins nationaux correspondants. Ses obligations en tant que levier du développement exigent sa contribution internationale au développement durable, d'où son implication à la contribution aux activités de développement économique et social. Cette mission devrait ainsi couvrir les domaines de:

- ✚ Sauvegarde des personnes et des biens;
- ✚ Protection de l'environnement;
- ✚ Acquisition de données météorologiques, hydrologiques, climatologiques et environnementales connexes sur de longues périodes;
- ✚ Incitation au renforcement endogène des capacités;
- ✚ Définition de mesures d'adaptation et d'atténuation face aux catastrophes
- ✚ Changements climatiques;
- ✚ Exécution des engagements internationaux;
- ✚ Coopération internationale et multisectorielle.

### I.1.4 Organigramme de la Direction Générale de la Météorologie Malagasy

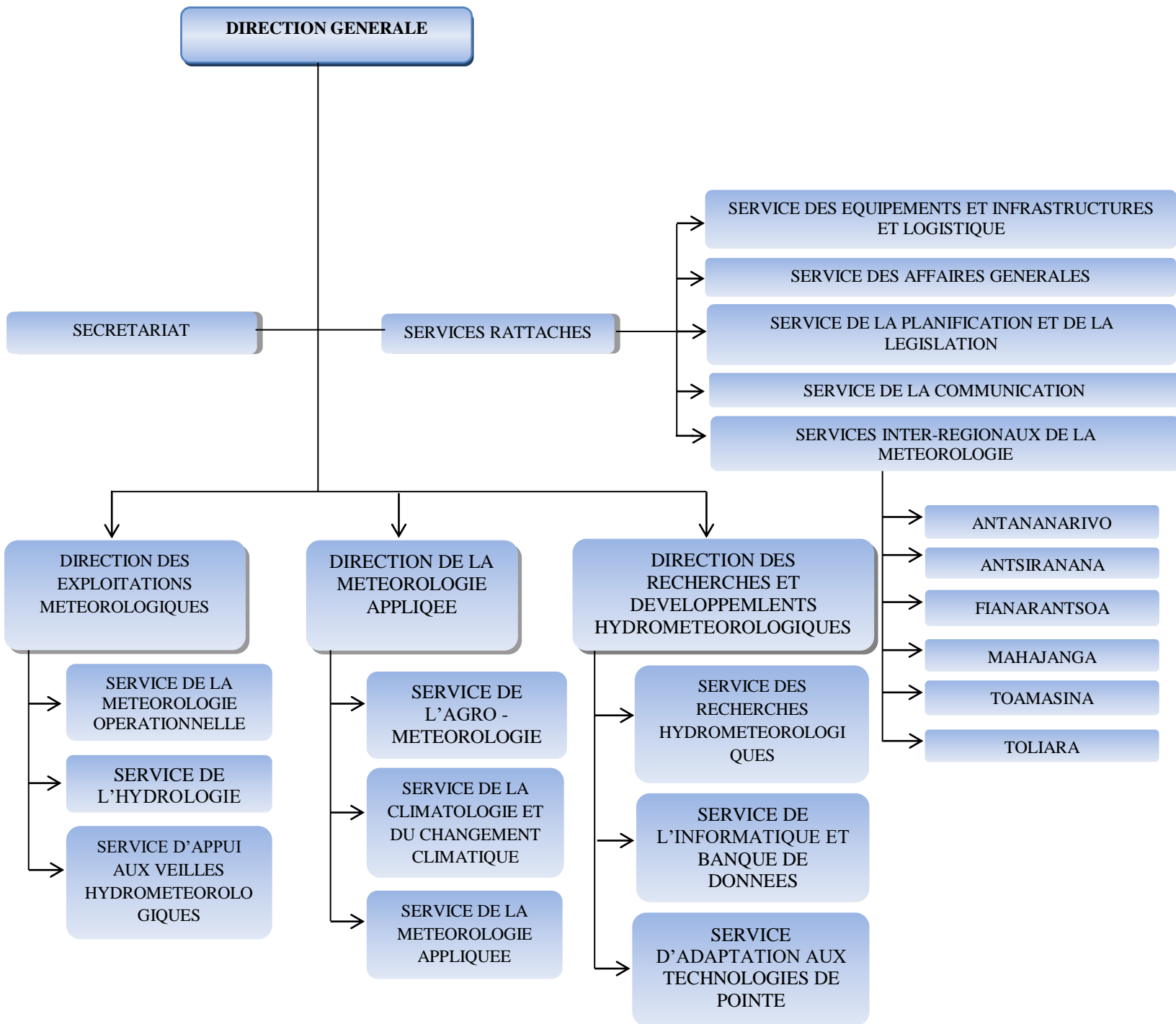


Figure 2: Organigramme de la DGM (source DGM)

## I.2 Généralités

### I.2.1 Pression atmosphérique<sup>[a]</sup>

La pression atmosphérique sur une surface donnée est la force que l'atmosphère sus-jacente exerce en raison de son poids par unité de surface. Elle est donc égale au poids de la colonne d'air verticale qui s'étend de la surface en question à la limite supérieure de l'atmosphère (troposphère).

L'unité fondamentale de mesure de la pression atmosphérique est le Pa qui correspond à 1 N/m<sup>2</sup> (Newton par m<sup>2</sup>). Il existe d'autres unités plus ou moins utilisées (comme le mm ou le pouce de mercure ainsi que le millibar).

Dans le domaine de la Météorologie, il est préférable d'exprimer la mesure en hPa (1 hectopascal = 100 Pa).

#### I.2.1.1 L'atmosphère

La Terre est entourée d'une couche d'air qui nous permet de respirer et de vivre. Cette couche d'air s'élève à une grande altitude en devenant de moins en moins dense (sa masse volumique diminue avec l'altitude). Elle a une masse d'environ  $5 \times 10^{18}$  kg, dont trois quarts se situent à une altitude inférieure à 11km. L'atmosphère est retenue par la Terre grâce à la gravité (la Lune ou des planètes comme Mars n'ont pas d'atmosphère parce que leur masse et donc leur champ de gravitation sont trop faibles).

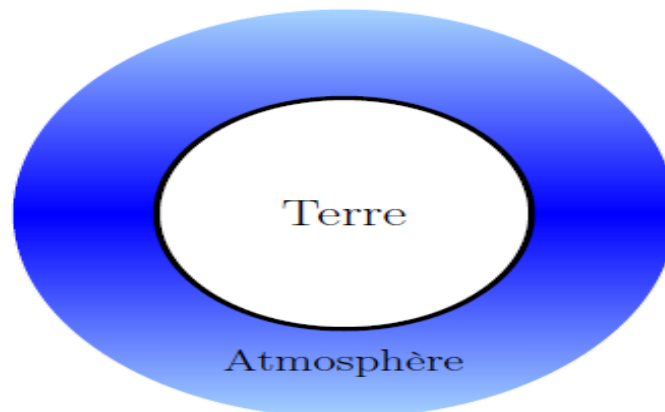


Figure 3: L'atmosphère terrestre (source [a])

Cette masse d'air a un poids qui pèse sur toute la surface de la Terre. Comme on a défini une pression par  $p = F/S$ , le poids de l'atmosphère doit se manifester par une certaine pression  $p_{atm} = P/S$  (avec  $P$  le poids de la colonne d'air au-dessus de la surface  $S$ ). Cette pression est appelée pression atmosphérique.

La pression atmosphérique est donc en quelque sorte une pression hydrostatique, où le liquide est cependant remplacé par de l'air.

La valeur de la pression atmosphérique normale est de 1013,25 hPa !

### I.2.1.2 Poussée d'Archimède atmosphérique

Tout comme les corps plongés dans un liquide, les corps qui se trouvent dans l'atmosphère subissent aussi une poussée d'Archimède. Néanmoins, comme la masse volumique de l'air est très faible, cette poussée est souvent négligeable (le poids d'un homme par exemple est de loin supérieur à sa poussée due à l'atmosphère).

Cependant, un ballon rempli d'Hélium (un gaz très léger, donc de masse volumique inférieure à celle de l'air) monte rapidement dans le ciel comme son poids est inférieur à sa poussée d'Archimède.

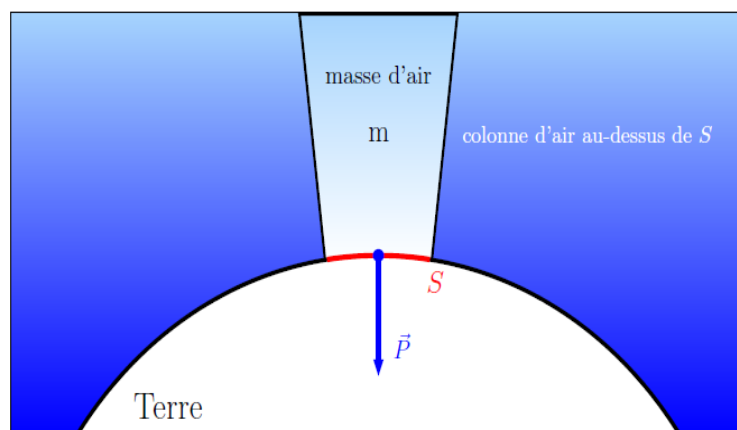


Figure 4: Origine de la pression atmosphérique (source [a])

Ceci explique aussi pourquoi l'air chaud monte toujours vers le haut, au-dessus des couches d'air froides : en effet, l'air chaud a une masse volumique inférieure à l'air froid (les molécules vibrent plus fortement, donc le volume qu'ils occupent devient plus grand, tandis que leur masse reste inchangée entraînant une diminution de la masse volumique). Application : montgolfières

### I.2.1.3 Expériences démontrant l'existence de la pression atmosphérique

#### I.2.1.3.1 Expérience du crève-vessie

Posons sur le plateau d'une machine pneumatique un manchon de verre fermé hermétiquement par un morceau de vessie ou d'une autre membrane élastique. Lorsque l'air atmosphérique se trouve de part et d'autre de la membrane, des pressions et donc des forces pressantes égales mais opposées s'exercent sur elle : la membrane est en équilibre.

Mettons la pompe en marche : l'air est retiré du cylindre.

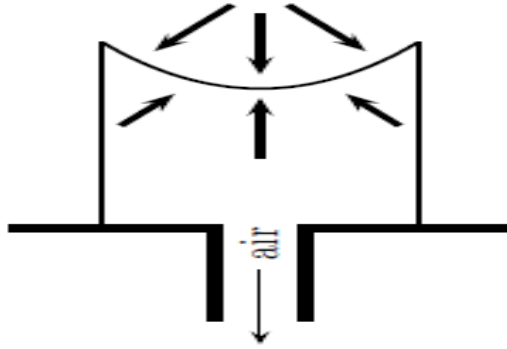


Figure 5: Expérience du crève vessie (source [a])

De ce fait, la pression diminue à l'intérieur et comme elle ne change pas à l'extérieur, la membrane s'enfonce. Finalement, la pression atmosphérique devenant de plus en plus petite, les forces pressantes de l'extérieur sont suffisamment fortes pour faire éclater la membrane.

#### I.2.1.3.2 Expérience du verre rempli d'eau

Remplissons un verre complètement d'eau. Ajoutons-y une feuille de carton assez mince. Retournons le verre en maintenant la feuille de carton avec la main. Cessons de soutenir le carton : le liquide ne coule pas.

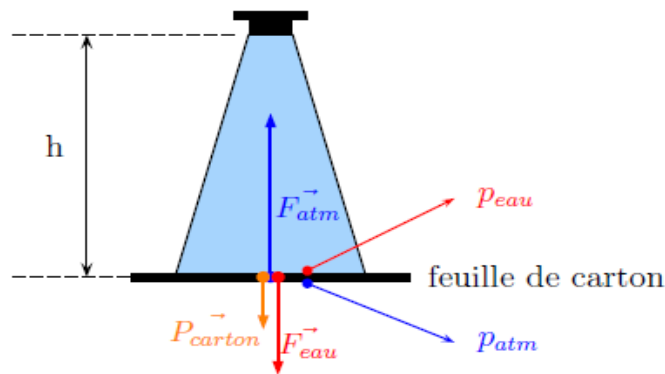


Figure 6: Expérience du verre rempli d'eau (source [a])

En effet, 3 forces s'exercent sur le carton :

- Le poids du carton  $\vec{p}_{carton}$ , dirigé vers le bas.
- La force pressante  $\vec{F}_{eau}$  que la pression hydrostatique de l'eau pousse engendre sur la partie du carton délimitée par le bord du verre, dirigée vers le bas.
- La force pressante  $\vec{F}_{atm}$  que la pression atmosphérique  $p_{atm}$  engendre sur cette même partie, dirigée vers le haut.

#### I.2.1.3.3 Expérience des hémisphères de Magdebourg

Cette expérience a été réalisée en 1654 par le bourgmestre de Magdebourg d'antan, Otto Von Guericke.

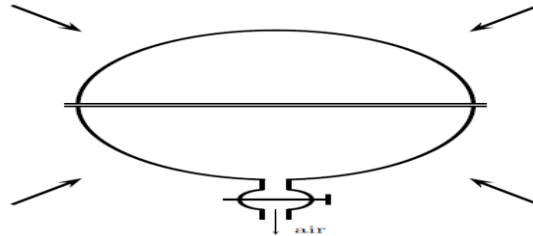


Figure 7: Expérience des hémisphères de Magdebourg (source [a])

Deux hémisphères creuses, en laiton, s'accrochent exactement l'une sur l'autre.

Après avoir fait le vide à l'intérieur de la cavité formée par les deux hémisphères, celles-ci restent «collées» l'une sur l'autre sous la seule action de la force pressante que l'air exerce sur la surface extérieure.

#### I.2.1.4 Mesure de la pression atmosphérique

L'instrument de mesure de la pression atmosphérique est le baromètre.

On distingue différents types de baromètres.

- A mercure
- Anéroïde
- Electronique
- Automatique

On peut aussi évoquer les barographes qui sont des baromètres avec un enregistreur de mesures. La plupart sont enfermés dans une boîte vitrée avec des montants en bois noble et peuvent être considérés comme des objets de collection.

Le baromètre fournit une indication sur la tendance du temps pour les prochaines heures mais ne permet cependant pas de faire des prévisions précises.

#### I.2.1.5 Interprétation des mesures de la pression atmosphérique

Dans la plupart des cas de figures où les centres d'actions sont bien définis, les variations de pression peuvent renseigner sur l'évolution des conditions météorologiques à court et moyen terme.

Une hausse des pressions atmosphériques n'est pas toujours associée au retour du beau temps. Les perturbations pluvieuses sont parfois très détachées du centre de leur dépression associée. Elles peuvent venir se coucher sur les flancs d'une cellule anticyclonique et être actives avec des pressions supérieures à 1020 hPa.

En été, la présence d'un marais barométrique (faible gradient de pression sur une surface importante) associé à de l'air chaud en basse couche peut se traduire par la formation de foyers orageux jusqu'à des pressions pouvant atteindre 1025 hPa.

Une hausse brutale de 1 à 3 hPa sur quelques minutes peut être due au passage d'une ligne de grains (front froid secondaire).

Une hausse lente et durable annonce presque toujours une amélioration des conditions météorologiques. Une baisse lente et durable indique le rapprochement lent d'une dépression où l'affaiblissement progressif d'une cellule anticyclonique.

## **PARTIE II: MATERIELS ET METHODES UTILISES**

## II.1 Instruments de mesure utilisés

### II.1.1 Station automatique

#### II.1.1.1 Historique<sup>[b]</sup>

Durant la Seconde Guerre mondiale, il y eut des tentatives dans les deux camps pour mettre en place des stations météorologiques terrestres basées dans des endroits disputés comme le Spitzberg. Les Allemands ont développés des stations automatisées (comme la station météorologique Kurt) sur l'île Jan Mayen, le Groenland oriental et jusque sur les côtes du Labrador.



Figure 8: Station automatique CR 1000 d'Ampandrianomby (source Auteur)

La mise en service de stations automatiques s'est largement développée ces dernières décennies, grâce aux progrès de l'électronique et des transmissions, mais surtout parce qu'elles apportaient une solution au problème de plus en plus contraignant de l'impossibilité pratique d'assurer sur place la gestion de l'ensemble des stations météorologiques au sol par un personnel spécialisé, disponible à tout moment d'observation et suffisamment nombreux.

L'automatisation des stations d'observation s'est révélée très efficace dans la gestion de réseaux comme la climatologie, l'agro-météorologie, la surveillance de la qualité de l'air ou les campagnes d'expérimentation, ainsi que dans l'implantation de sites en environnement hostile, comme les îles inhabitées ou la haute montagne

### II.1.1.2 Définition

Une station automatique comporte un certain nombre d'instruments reliés à un processeur central qui en fait l'interrogation de façon préprogrammée. Ce dernier peut stocker les données dans un enregistreur de données ou bien en faire la transmission par câble ou par ondes radio vers un ou plusieurs lieux d'exploitation plus ou moins éloignés. Dans notre étude, on utilise une station automatique « Campbell Scientific »

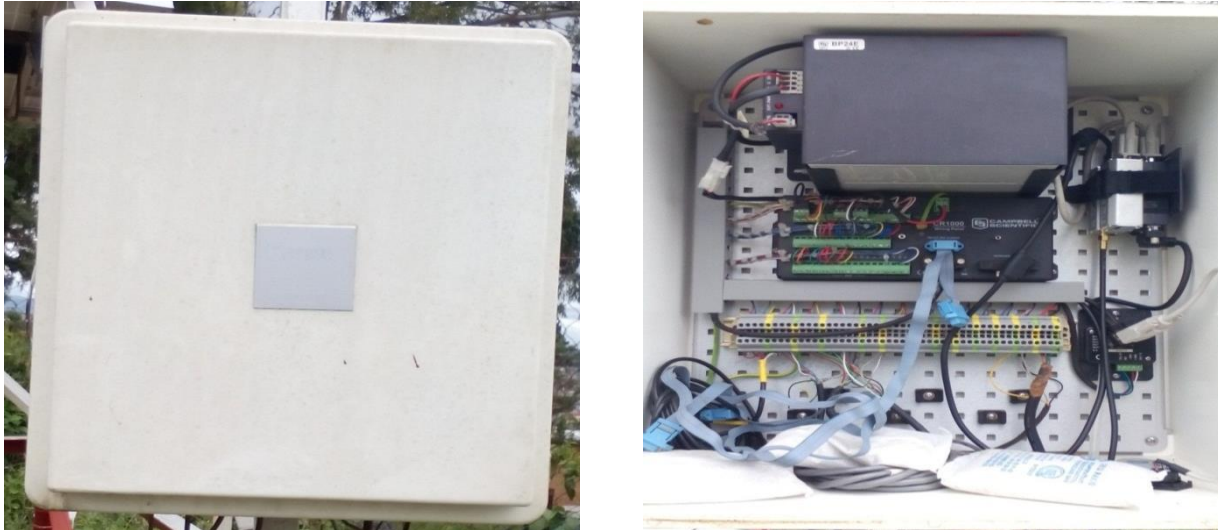


Figure 9: Boîte comportant le système central de fonctionnement de la station CR 1000 de la DGM (source Auteur)

L'enregistreur et le processeur se trouvent dans un boîtier imperméable. La station est alimentée par une pile rechargeable qui est relié à une ligne électrique, un panneau solaire ou une éolienne. Le nombre de capteurs varie selon les besoins. Une station automatique comporte au minimum :

- Un thermomètre pour la température de l'air ;



Figure 10: Capteur de température (source Auteur)

- Une cellule à point de rosée ou un hygromètre pour la mesure de l'humidité ;



Figure 11: Capteur de l'humidité (source Auteur)

- Un anémomètre et une girouette pour la mesure et la direction du vent ;



Figure 12: Anémomètre et girouette (source [c])

- Un pluviomètre/nivomètre pour mesurer la quantité de précipitations tombées ;



Figure 13: Pluviomètre (source [c])

- Un baromètre pour la pression atmosphérique.



*Figure 14: Capteur de la pression atmosphérique (source Auteur)*

Pour les stations qui sont destinées à simuler la prise de données par un humain, les capteurs suivants sont ajoutés :

- Un célomètre laser pour mesurer les couches nuageuses et leur base ;
- Un diffusiomètre optique ou un transmissiomètre pour mesurer la visibilité horizontale ;
- Un capteur ultrasonique pour mesurer la quantité de neige au sol ;
- Un détecteur d'occurrence de précipitations qui peut différencier les différents types par leur vitesse de chute ;
- Un indicateur d'accumulation de glace ;
- Un pyranomètre pour mesurer l'insolation.

Certains autres instruments peuvent être aussi ajoutés pour des usages particuliers comme un détecteur ultraviolet, un détecteur de foudre, une météo-cam, un détecteur de pollution (comme des plaquettes DIEM), un cryopédomètre, etc.

## **II.1.2 Baromètre à mercure**

### **II.1.2.1 Historique<sup>[d]</sup>**

Le premier baromètre a été inventé par Torricelli en 1643. Il a mis au point le baromètre à mercure permettant de mesurer la pression atmosphérique. Le terme baromètre en tant que tel n'apparaît qu'une vingtaine d'années plus tard. Blaise Pascal, physicien et expérimentateur de renom, a démontré par la suite que la pression diminuait au fur et à mesure que l'altitude augmentait.

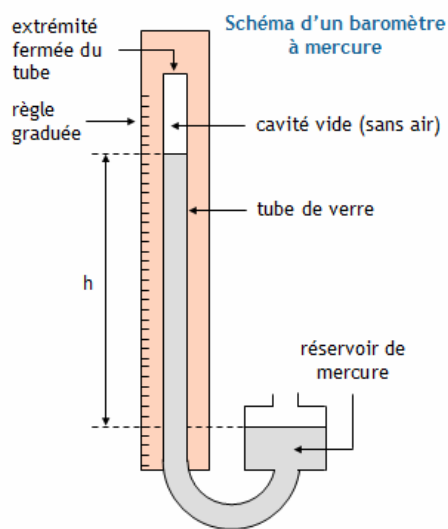


Figure 15: Baromètre à mercure (source [c])

Bien que l'origine en soit controversée, on attribue au physicien hollandais Christian Huygens un important perfectionnement du tube de Torricelli, en 1672. Un tube en U contient du mercure comme précédemment et une zone de vide du côté fermé, mais la branche ouverte contient un liquide non volatil de plus faible densité dont le niveau dépend de celui du mercure. Descartes avait déjà réalisé des appareils de cette sorte. En choisissant convenablement les sections des tubes, on peut ainsi obtenir une amplification de l'ordre de 10, ce qui rend la lecture beaucoup plus facile et précise. Cette technique permet en outre d'éviter l'oxydation lente du mercure par l'oxygène de l'air.

### II.1.2.2. Définition

Le baromètre à mercure est un tube en U lié à une graduation de référence permettant de mesurer la différence de niveau entre les deux surfaces libres du mercure.

Le baromètre à mercure présente de nombreux inconvénients :

- le tube de verre est encombrant et fragile ;
- le mercure est un métal cher et toxique (de nos jours il est interdit pour de nombreuses applications comme les thermomètres médicaux) ;
- la très forte tension superficielle du mercure rend sa surface libre convexe et fait que dans les tubes étroits, le niveau du mercure s'établit un peu au-dessous de sa valeur théorique ; il faut donc non seulement faire une visée tangentielle mais aussi corriger la valeur obtenue en fonction du diamètre du tube ;
- une correction doit être pratiquée en fonction de la température, pour compenser la dilatation du métal et donc la variation de densité qui l'accompagne, c'est pourquoi tout bon baromètre est associé à un thermomètre et aux tables de correction adéquates.

## **II.2 Fonctionnement et méthodes de mesure utilisées**

### **II.2.1 Baromètre de la station automatique**

Un baromètre convenant à la lecture automatique est relié à un dispositif de calcul, habituellement un microprocesseur, qui peut être programmé pour fournir des données représentatives qu'il est possible de présenter sous forme de graphiques, en vue d'établir des relevés similaires à ceux fournis par un barographe<sup>[d]</sup>. Certains modèles impriment leurs propres échelles, ce qui élimine ainsi une source d'erreur.

#### **II.2.1.1 Lecture du baromètre automatique**

Le baromètre automatique(ou dans notre cas le capteur de pression) mesure la pression atmosphérique de l'espace qui l'entoure ou de tout autre espace auquel il est relié. Il indique la valeur exacte de la pression sur un afficheur numérique (une tablette), normalement en millibars, l'unité pouvant être facilement modifiée. Il est possible de prévoir une sortie pour l'enregistrement des données numériques pouvant aller jusqu'à un mois. L'instrument étant commandé par un microprocesseur, il indique aussi la tendance. L'exactitude du baromètre est en fonction de l'exactitude de l'étalonnage, de l'efficacité de la compensation pour la température et de la dérive instrumentale.

### **II.2.2 Baromètre à mercure**

#### **II.2.2.1 Principe fondamental et mesure**

Le principe fondamental du baromètre à mercure est que la pression atmosphérique fait équilibre au poids d'une colonne de mercure. Dans certains baromètres, la colonne de mercure est pesée sur une balance mais, pour les applications normales de la météorologie, sa hauteur est mesurée sur une échelle graduée en unités de pression.

Plusieurs types de baromètres à mercure sont en usage dans les stations météorologiques, le type à cuvette fixe et le type Fortin étant les plus courants. Il convient de mesurer la distance entre le sommet de la colonne de mercure et le niveau supérieur du mercure dans la cuvette. Chaque changement de la longueur de la colonne de mercure s'accompagne évidemment d'un changement du niveau du mercure dans la cuvette. Dans le cas du baromètre Fortin, on ajuste le niveau du mercure dans la cuvette de manière à le mettre en contact avec une pointe de référence en ivoire, dont l'extrémité se trouve en face du zéro de l'échelle barométrique; dans celui du baromètre à cuvette fixe, appelé également baromètre du type Kew, aucun ajustement n'est nécessaire puisque l'échelle gravée sur le baromètre est établie de façon à compenser les modifications du niveau du mercure dans la cuvette.

Le baromètre à mercure met en jeu le principe de base de l'hydrostatique :

$$dp = \rho g dh \quad (1)$$

Avec  $dp$  variation de pression (Pa);

$\rho$  masse volumique du mercure ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ );

$g$  accélération due à la pesanteur ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ );

$dh$  variation de hauteur de la colonne de mercure (m).

Selon les principes mis en jeu pour la détection et la mesure des différences de niveau des surfaces libres du mercure, on distingue plusieurs classes d'appareils. Les plus performants correspondent à des baromètres de référence, les autres peuvent être considérés comme des baromètres de terrain.

Son fonctionnement est mis en évidence dans l'expérience de Torricelli<sup>[e]</sup>:

Un tube de verre ( $\pm 1$  m de long), fermé à une extrémité, est complètement rempli de mercure (Hg). Puis, en le bouchant avec un doigt, on le plonge dans une cuve à mercure. En enlevant le doigt, on constate que le mercure descend et que son niveau se stabilise à une certaine hauteur  $h$ , de l'ordre de 76 cm, au-dessus de la surface libre de mercure dans la cuvette (la dénivellation  $h$  est indépendante de la forme, de la section et de l'inclinaison du tube).

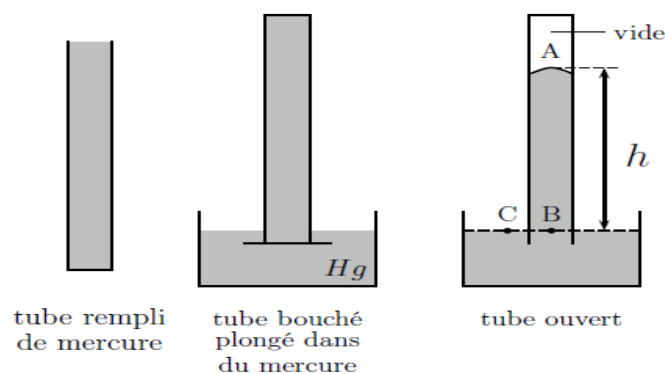


Figure 16: Expérience de TORRICELLI (source[e])

Remarque: On pourrait également utiliser un autre liquide que le mercure. Cependant, la colonne de liquide deviendra bien plus longue, comme ces liquides ont une masse volumique inférieure à celle du mercure (le mercure est le liquide avec la plus grande masse volumique à température ambiante).

### **II.2.2.2 Réduction de la pression atmosphérique mesurée à des niveaux différents <sup>[2]</sup>**

Il est nécessaire de réduire au même niveau les observations barométriques faites à des stations situées à des altitudes différentes, afin de pouvoir les comparer. Plusieurs méthodes sont appliquées pour procéder à cette réduction, mais l'OMM n'a pas encore recommandé une méthode particulière, sauf dans le cas des stations situées à faible altitude.

La méthode recommandée est décrite dans diverses notes techniques de l'OMM (1954; 1964; 1968). Les Tables météorologiques internationales (OMM, 1966) contiennent un ensemble détaillé de formules pouvant servir au calcul de la pression.

### **II.2.2.3 Correction des lectures du baromètre aux conditions normales <sup>[2]</sup>**

#### **❖ Corrections de l'erreur instrumentale**

Les erreurs résiduelles dans la graduation de l'échelle d'un baromètre devraient être déterminées par comparaison avec un baromètre étalon. Elles peuvent inclure des erreurs dues à une fixation ou division inexacte de l'échelle, à la capillarité et à un vide imparfait. Les certificats de comparaison avec l'étalon devraient mentionner les corrections à appliquer pour l'erreur instrumentale en quatre points de l'échelle au moins, par exemple tous les 50 hPa. Pour un bon baromètre, ces corrections ne devraient pas excéder quelques dixièmes d'hectopascal

#### **❖ Corrections de pesanteur**

La lecture d'un baromètre à mercure à une pression et à une température donnée dépend de l'accélération de la pesanteur qui, à son tour, varie avec la latitude et l'altitude. Les baromètres qui servent aux applications météorologiques sont étalonnés de manière à donner des lectures barométriques vraies à l'accélération normale de la pesanteur ( $9,806\,65\text{ m.s}^{-2}$ ) et les valeurs lues sur l'échelle du baromètre pour toute autre valeur de la pesanteur doivent être corrigées.

#### **❖ Corrections de température**

Les résultats des lectures du baromètre doivent être réduits aux valeurs que l'on aurait obtenues si le mercure et l'échelle avaient été soumis à leur température normale, qui est de  $0^{\circ}\text{C}$  pour les baromètres à mercure. Suivant les baromètres, l'échelle utilisée peut fournir la pression exacte à  $0^{\circ}\text{C}$ , ou encore à  $20^{\circ}\text{C}$ .

Les corrections de température à appliquer aux baromètres à mercure ont fait l'objet de travaux de recherche approfondis, dont les résultats sont résumés ci-après :

1. a) Échelle juste à 0 °C et, en outre

$$C_t = -B (\alpha - \beta) \cdot t \quad (2)$$

b) Volume de Hg juste à 0 °C

$$C_{t,V} = -B (\alpha - \beta) \cdot t - (\alpha - 3\eta) \cdot 4V/3A \quad (2.a)$$

2. Échelle juste à 0 °C et Volume de Hg juste à 20 °C

$$C_{t,V} = -B (\alpha - \beta) \cdot t - (\alpha - 3\eta) \cdot (t - 20) \cdot 4V/3A \quad (2.b)$$

3. a) Échelle juste à 20 °C

$$C_t = -B [\alpha \cdot t - \beta \cdot (t - 20)] \quad (3)$$

b) Volume de Hg juste à 0 °C

$$C_{t,V} = -B \cdot t - \beta \cdot (t - 20)] - (\alpha - 3\eta) \cdot t \cdot (4V/3A) \quad (3.a)$$

c) Diminution du volume de Hg équivalent à 0,36hPa

$$C_{t,V} = -B (\alpha - \beta) \cdot t - (\alpha - 3\eta) \cdot t \cdot (4V/3A) \quad (3.b)$$

4. Échelle juste à 20 °C et Volume de Hg juste à 20 °C

$$C_{t,V} = -B \cdot t - \beta (t - 20)] - (\alpha - 3\eta) \cdot (t - 20) \cdot (4V/3A) \quad (3.c)$$

b) Diminution du volume de Hg équivalent à 0,36hPa

$$C_{t,V} = -B (\alpha - \beta) t - (\alpha - 3\eta) \cdot (t - 20) \cdot (4V/3A) \quad (3.d)$$

Où  $C_t$  = correction de température;

$C_{t,V}$  = correction supplémentaire appliquée au baromètre à cuvette fixe;

$B$  = valeur indiquée par le baromètre;

$V$  = volume total du mercure dans le baromètre à cuvette fixe;

$A$  = superficie effective de la cuvette;

$t$  = température;

$\alpha$  = coefficient de dilatation cubique du mercure;

$\beta$  = coefficient de dilatation linéaire de l'échelle;

$\eta$  = coefficient de dilatation linéaire de la cuvette.

## II.2.3 Méthodologie

### II.2.3.1 Traitement des données de pression atmosphérique

#### ❖ sur MS-Excel

Les données de pression sont saisies et traitées sur MS-Excel. Le traitement consistait à calculer les moyennes journalières et mensuelles des pressions prélevées sur le baromètre à mercure ainsi que sur le baromètre automatique pour chaque mois. Il consistait aussi à faire les différents calculs utilisés dans la partie résultats.

#### ❖ Sur R-studio

Les valeurs moyennes journalières obtenues sur MS-Excel sont utilisées sur le langage R (dans l'interface R-studio) qui est un langage informatique dédié aux statistiques et à la science des données. L'implémentation la plus connue du langage R est le logiciel GNU R. Il contient de nombreuses bibliothèques de manipulation de données. Le développeur Hadley Wickham a notamment développé les bibliothèques Dplyr et TidyR qui définissent une grammaire de la manipulation de données. Ce dernier permet la réalisation avec facilité des courbes montrant la différence des pressions moyennes journalière et leur évolution par la comparaison des deux courbes: l'une pour la pression du baromètre automatique et l'autre pour la pression du baromètre à mercure. Il permet aussi de faire une représentation de la droite de régression linéaire et aussi une représentation de la loi normale par rapport à la densité de la courbe représentant les pressions moyennes pour chaque mois sur les deux baromètres utilisés.

### II.2.3.2 Test paramétrique

Ce test est réalisé suivant les 3 étapes suivantes:

- Détermination de la loi de distribution théorique permettant d'analyser les fluctuations d'échantillonnage et donc vérifier que l'on est dans les conditions de validité de cette loi (taille de l'échantillon, distribution de la variable,...)
- définition d'une hypothèse à contrôler  $H_0$  (Vérification de l'homogénéité des variances).
- Sous cette hypothèse, on calcule la valeur  $z$  (Test  $z$ ).

#### ❖ Test de normalité<sup>[ff]</sup>

C'est un test descriptif d'aplatissement et d'asymétrie permettant de vérifier si un échantillon suit une loi normale à 95%. Dans ce cas la valeur de son aplatissement ainsi que la valeur de son asymétrie sont comprises entre -2 et 2.

***L'asymétrie est définie par:***

$$G_1 = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s_A} \right)^3 \quad (4)$$

***L'aplatissement est défini par:***

$$G_2 = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s_A} \right)^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad (5)$$

### ❖ Vérification de l'homogénéité des variances<sup>[f]</sup>

Dans cette étape on teste deux hypothèses:

- Hypothèse nulle  $H_0: \text{variance}_A = \text{variance}_M$
- Hypothèse alternative  $H_1: \text{variance}_A \neq \text{variance}_M$

On calcule les deux variances, on fait le rapport de la plus grande sur la plus petite. Ce rapport constitue le F de Snedecor, cette valeur F est comparée dans une table de Snedecor à une valeur théorique et doit lui être inférieur pour un seuil de risque choisi pour conserver l'hypothèse d'homogénéité des variances. Le degré de liberté correspondant à la variance la plus élevée est portée au numérateur (colonne de la table F) celui correspondant à la variance la plus faible est porté au dénominateur (ligne de la table F).

Valeur critique de rejet :  $-F_{0,95}(n_A - 1, n_M - 1) = 1,85$  pour le mois de Septembre

$-F_{0,95}(n_A - 1, n_M - 1) = 1,84$  pour les mois d'Août et Octobre

### ❖ Test z<sup>[g]</sup>

Ce test est utilisé lorsque le nombre de résultats ou d'observations  $n \geq 30$  quel que soit la distribution de X dans la population.

Comme  $n_A$  et  $n_M$  sont grands, on peut remplacer  $\sigma_A$  et  $\sigma_M$  par  $s_A$  et  $s_M$

Alors, sous l'hypothèse d'égalités des variances

$$Z = \frac{\mu_A - \mu_M}{\sqrt{\frac{s_A^2}{n_A} + \frac{s_M^2}{n_M}}} \rightarrow N(0,1) \quad (6)$$

On utilise ensuite la table des valeurs de la distribution de la loi normale pour voir si la valeur de la statistique est supérieure (en valeur absolue pour un test bilatéral) au quantile à 95 % et donc rejeter ou non l'hypothèse nulle

Pour un test bilatéral au seuil  $\alpha$ :

- Si  $|z| \leq z_{1-\alpha/2}$  on accepte  $H_0$ : absence de différence
- Si  $|z| > z_{1-\alpha/2}$  on conclut  $H_1$ : différence des moyennes

Avec

- $\mu_A$ : Moyenne mensuelle des pressions provenant du baromètre automatique (A)
- $\mu_M$ : Moyenne mensuelle des pressions provenant du baromètre à mercure (M)
- $s_A^2$ : Estimation de  $\sigma_A^2$  obtenue sur l'échantillon du baromètre automatique (A)
- $s_M^2$ : Estimation de  $\sigma_M^2$  obtenue sur l'échantillon du baromètre à mercure (M)
- $n_A$ : Nombre de jours des observations faites le baromètre automatique (A)
- $n_M$ : Nombre de jours des observations faites sur le baromètre à mercure (M)

### **II.2.3.3 Résultats attendus**

Les séries de comparaisons faites ici ont pour but de montrer s'il y a homogénéité ou différence des mesures des pressions moyennes provenant du baromètre à mercure et celles provenant du baromètre de la station automatique. Cette étude comparative faite sur une durée d'un trimestre et appuyée par des courbes et des tests statistiques, doit nous montrer le cours des deux séries de mesures et s'il y a ou non une différence significative entre les deux échantillons.

## **PARTIE III: RESULTATS ET INTERPRETATIONS**

## III.1 Résultats

### III.1.1 Résultats de la comparaison des données de pressions relevées à la Station d'Ampandrianomby sur un trimestre

Pour une série de  $n$  mesurages du même mesurande, la grandeur  $s$  ou l'écart type caractérise la dispersion des résultats, donnée par la formule:  $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$  (7)

Avec  $x_i$  le résultat du  $i^{\text{ème}}$  mesurage et  $\bar{x}$  la moyenne arithmétique des  $n$  résultats considérés.

#### III.1.1.1 Mois d'Août 2016

Tableau 1: Valeurs de pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique de la DGM pour le mois d'Août

Jours	Pressions moyennes relevées sur le Baromètre automatique (mbar)	Pressions moyennes relevées sur le Baromètre à mercure (mbar)
01/08/16	873.3	873.0
02/08/16	874.3	874.1
03/08/16	872.9	872.6
04/08/16	874.6	874.2
05/08/16	875.5	875.6
06/08/16	877.4	876.9
07/08/16	877.8	877.4
08/08/16	878.5	878.0
09/08/16	877.8	877.6
10/08/16	875.6	875.3
11/08/16	874.7	874.7
12/08/16	875.3	875.1
13/08/16	875.8	876.8
14/08/16	878.3	877.9
15/08/16	878.5	878.3
16/08/16	878.8	878.3
17/08/16	876.9	876.5
18/08/16	876.0	875.8
19/08/16	875.6	875.2
20/08/16	874.5	874.2
21/08/16	873.9	873.7
22/08/16	875.4	875.2
23/08/16	876.2	875.9
24/08/16	875.4	875.2
25/08/16	875.9	875.6
26/08/16	875.5	876.2
27/08/16	879.0	878.5
28/08/16	880.5	880.3
29/08/16	880.0	879.9
30/08/16	878.8	878.8
31/08/16	879.9	879.5
Moyenne mensuelle	876.5	876.3

Le tableau présente ci-dessus les valeurs des pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique pour le mois d'Août

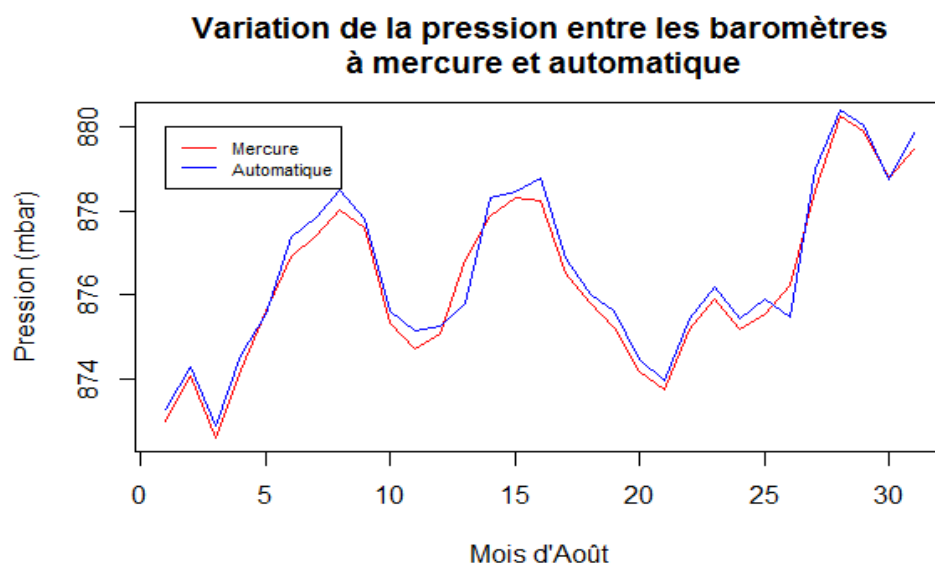


Figure 17: Représentation des pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique de la DGM pour le mois d'Août

La figure ci-dessus montre l'évolution des pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et celle de la station automatique durant le mois d'Août. Elle montre ainsi la superposition des deux courbes nous permettant de déceler la moindre petite différence ou écart existant sur certains points.

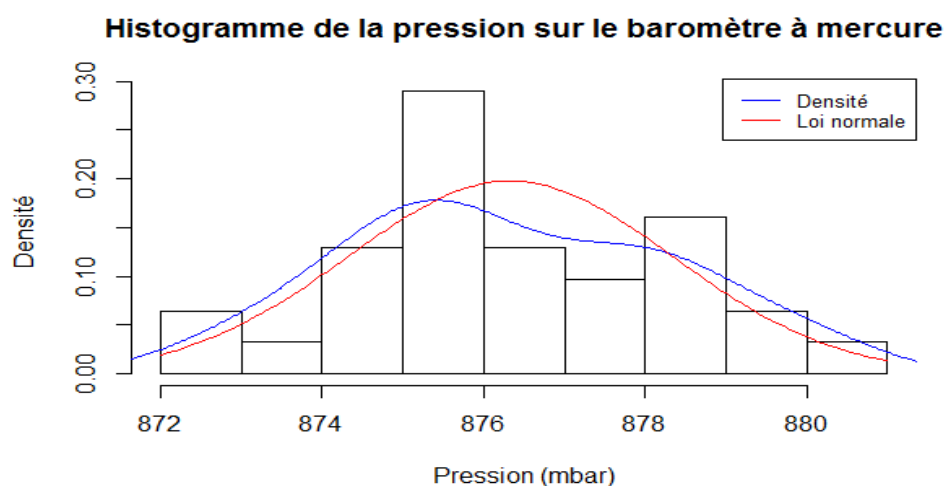


Figure 18: Présentation de la pression moyenne provenant du baromètre à mercure de la DGM par rapport à la loi normale pour le mois d'Août

Cette figure montre l'histogramme de la loi normale par rapport à la pression moyenne provenant du baromètre à mercure pour le mois d'Août.

### Histogramme de la pression sur le baromètre automatique

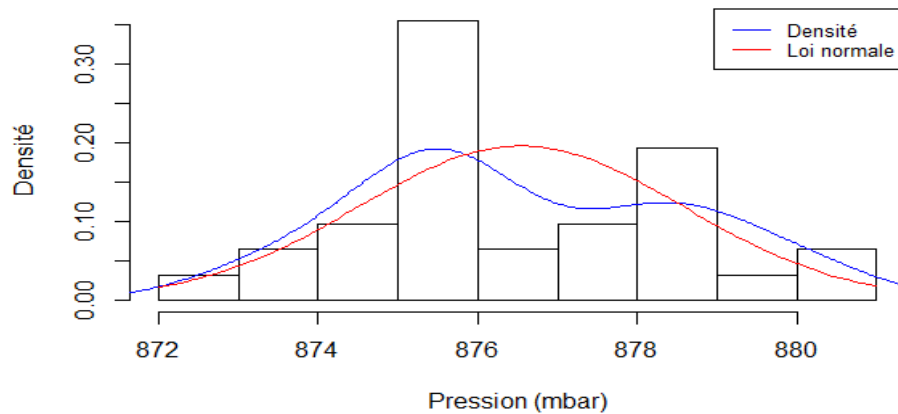


Figure 19: Présentation de la pression moyenne provenant du baromètre automatique de la DGM par rapport à la loi normale pour le mois d'Août

Cette figure montre l'histogramme de la loi normale par rapport à la pression moyenne provenant du baromètre automatique pour le mois d'Août.

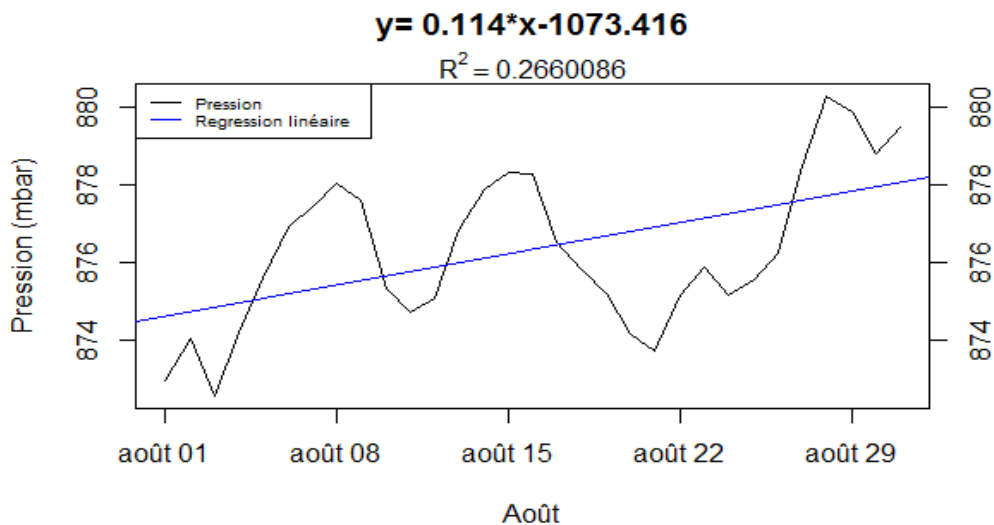


Figure 20: Tendance de la pression atmosphérique moyenne provenant du baromètre à mercure de la DGM pour le mois d'Août

Cette figure montre la courbe des pressions moyennes provenant du baromètre à mercure ainsi que la droite de régression linéaire représentant la tendance de la pression pendant le mois d'Août.

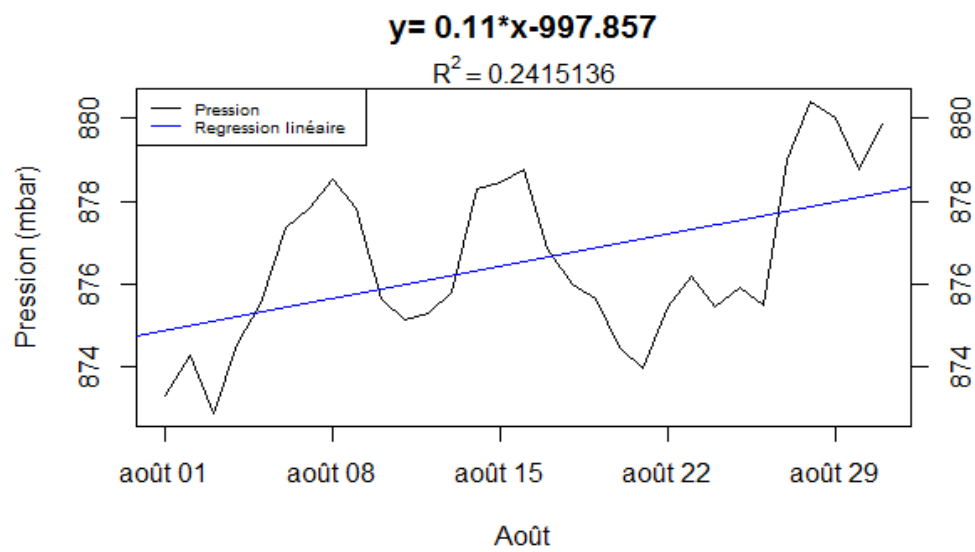


Figure 21: *Tendance de la pression atmosphérique moyenne provenant du baromètre automatique de la DGM pour le mois d’Août*

Cette figure montre la courbe des pressions moyennes provenant du baromètre automatique ainsi que la droite de régression linéaire représentant la tendance de la pression pendant le mois d’Août.

### III.1.1.1.1 Test paramétrique

#### ❖ Normalité

##### ➤ Pour le Baromètre automatique

###### - *Asymétrie*

$$G_{A_1} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s_A} \right)^3 \text{ avec } s_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2,0369$$

Application numérique:

$$G_{A_1} = \frac{31}{(31-1)(31-2)} \times 8,5642 \text{ car } \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s_A} \right)^3 = 8,5642$$

D'où

$$G_{A_1} = 0,3052$$

###### - *Aplatissement*

$$G_{A_2} = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s_A} \right)^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

Application numérique:

$$G_{A_2} = \frac{31(31+1)}{(31-1)(31-2)(31-3)} \times 60,8557 - \frac{3(31-1)^2}{(31-2)(31-3)} \text{ car } \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s_A} \right)^4 = 60,8557$$

D'où

$$G_{A_2} = -0,8469$$

##### ➤ Pour le Baromètre à mercure

###### - *Asymétrie*

$$G_{M_1} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s_M} \right)^3 \text{ avec } s_M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2,0186$$

Application numérique:

$$G_{M_1} = \frac{31}{(31-1)(31-2)} \times 6,0510 \text{ car } \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s_M} \right)^3 = 6,0510$$

D'où

$$G_{M_1} = 0,2156$$

- **Aplatissement**

$$G_{M_2} = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s_M} \right)^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

Application numérique:

$$G_{M_2} = \frac{31(31+1)}{(31-1)(31-2)(31-3)} \times 63,9589 - \frac{3(31-1)^2}{(31-2)(31-3)} \text{ car } \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s_M} \right)^4 = 63,9589$$

D'où

$$G_{M_2} = -0,7205$$

Conclusion: Les échantillons des deux séries de mesures de pressions provenant du baromètre automatique et du baromètre à mercure suivent bien une loi normale à 95% pour le mois d'Août car les valeurs de leurs aplatissements ainsi que les valeurs de leurs asymétries sont comprises entre -2 et 2.

❖ **Homogénéité des variances**

- **Calcul des variances**

$$Var(A) = \sigma_A = 4.1490$$

$$Var(M) = \sigma_M = 4.0747$$

- **Calcul du F de Fischer-Snedecor**

$$F = \frac{\sigma_A}{\sigma_M}$$

Application numérique:

$$F = \frac{4.1490}{4.0747} = 1,0182$$

D'où

$$F = 1,0182$$

Comparaison avec la valeur critique  $F_{0,95}(30,30) = 1,84$

$$F = 1,0182 [< F_{0,95}(30,30) = 1,84]$$

Conclusion: Il n'y a pas de différence significative entre les deux variances des deux échantillons.

### ❖ Test z

Soit  $\mu$  la moyenne de la population

Test bilatéral

$$H_0: \mu_A = \mu_M$$

$$H_1: \mu_A \neq \mu_M$$

$$z = \frac{\mu_A - \mu_M}{\sqrt{\frac{s_A^2}{n_A} + \frac{s_M^2}{n_M}}} \rightarrow N(0,1)$$

Application numérique:

On a:

$$\mu_A = 876,5 ; \mu_M = 876,3 ; s_A^2 = 4,1490 ; s_M^2 = 4,0747 \text{ et } n_A = n_M = 31$$

$$z = \frac{876,5 - 876,3}{\sqrt{\frac{4,1490}{31} + \frac{4,0747}{31}}} = 0,7539$$

D'où

$$z = 0,7539$$

→  $z = 0,7539$  ( $< z_{1-\alpha/2=0,975} = 1,96$ ), donc différence non significative

Conclusion: L'hypothèse  $H_0$  qui désigne une absence de différence est retenue: « On ne met pas en évidence de différence entre les deux échantillons »

Une augmentation de 0,2 mbar n'est pas négligeable mais insuffisant pour montrer la supériorité de la moyenne des pressions provenant du baromètre automatique (A) sur la moyenne des pressions provenant du baromètre à mercure (M).

### III.1.1.2 Mois de Septembre 2016

*Tableau 2: Pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique de la DGM pour le mois de Septembre*

Jours	Pressions moyennes relevées sur le Baromètre automatique (mbar)	Pressions moyennes relevées sur le baromètre à mercure (mbar)
01/09/16	880.3	879.8
02/09/16	878.5	878.0
03/09/16	877.4	877.0
04/09/16	877.6	877.2
05/09/16	878.8	878.4
06/09/16	877.7	877.1
07/09/16	877.1	876.1
08/09/16	876.0	875.7
09/09/16	877.3	877.0
10/09/16	877.5	877.7
11/09/16	877.0	876.6
12/09/16	876.5	876.1
13/09/16	875.3	875.0
14/09/16	874.4	874.1
15/09/16	873.4	872.9
16/09/16	874.2	873.8
17/09/16	876.3	876.0
18/09/16	878.1	877.6
19/09/16	877.4	877.0
20/09/16	875.4	874.7
21/09/16	875.5	875.2
22/09/16	876.8	876.2
23/09/16	875.6	875.2
24/09/16	873.6	873.1
25/09/16	872.3	872.1
26/09/16	874.3	874.2
27/09/16	876.4	876.1
28/09/16	876.9	876.3
29/09/16	876.9	876.4
30/09/16	873.9	873.6
Moyenne mensuelle	876.3	875.9

Ce tableau présente les valeurs des pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique pour le mois de Septembre.

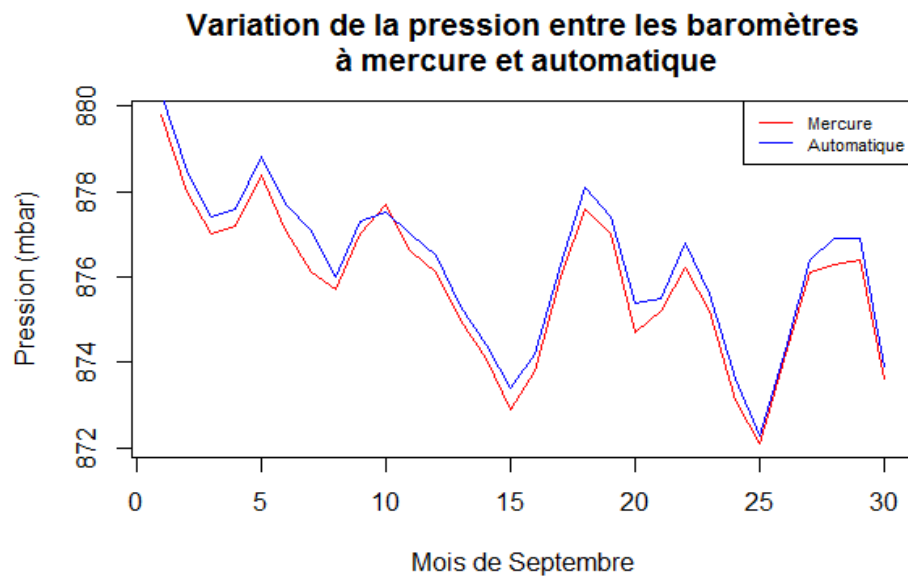


Figure 22: Représentation des pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique de la DGM pour le mois de septembre

La figure ci-dessus donne l'évolution des pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et celle de la station automatique le long du mois de Septembre. Elle affiche clairement aussi la superposition des deux courbes permettant de voir la petite différence ou écart qui soit sur certains points mêmes si elle est négligeable.

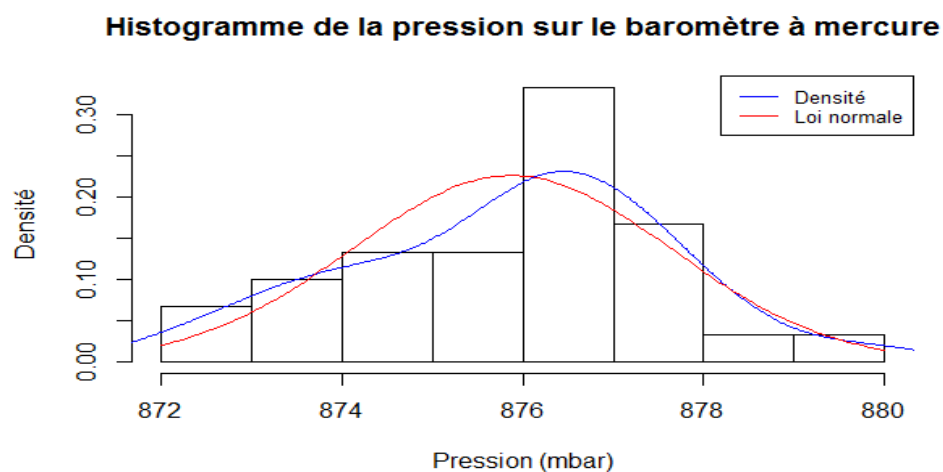


Figure 23: Présentation de la pression moyenne provenant du baromètre à mercure de la DGM par rapport à la loi normale pour le mois de Septembre

Cette figure présente l'histogramme de la loi normale par rapport à la pression moyenne provenant du baromètre à mercure pour le mois de Septembre.

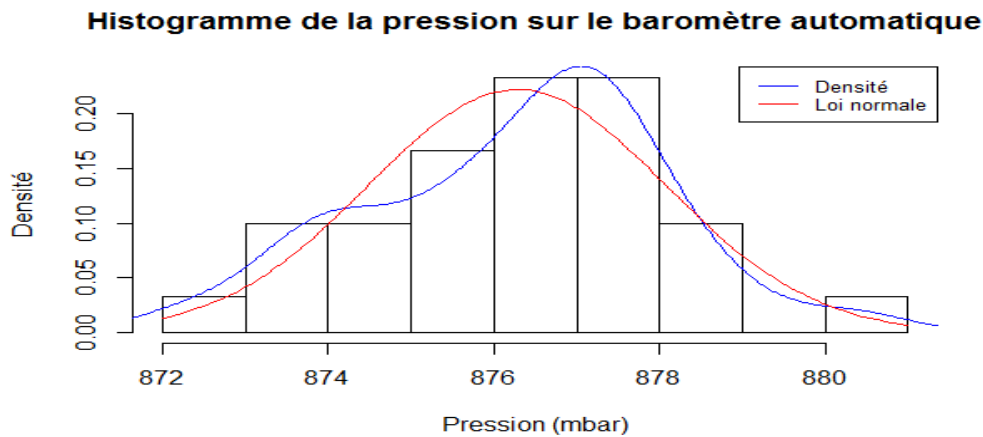


Figure 24: Présentation de la pression moyenne provenant du baromètre automatique de la DGM par rapport à la loi normale pour le mois de Septembre

Cette figure présente l'histogramme de la loi normale par rapport à la pression moyenne provenant du baromètre automatique pour le mois de Septembre.

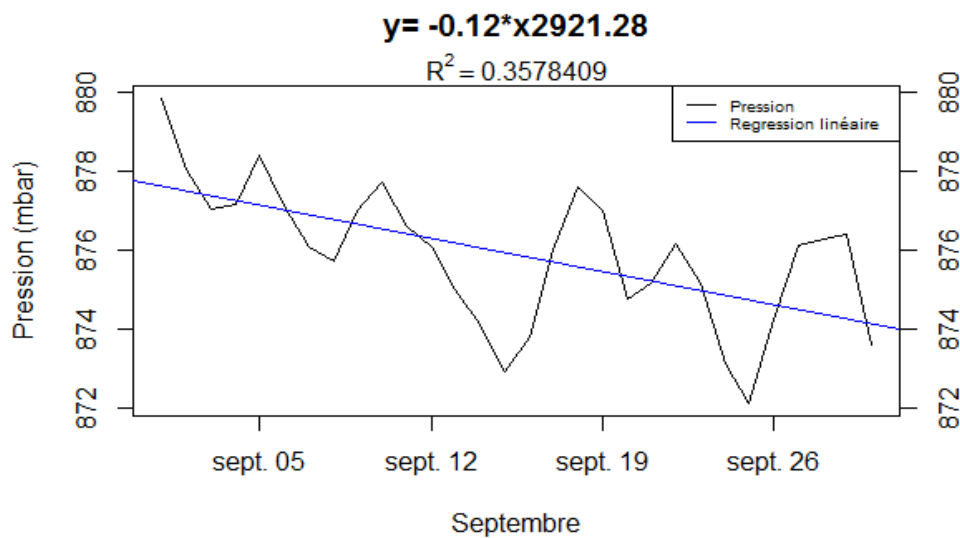


Figure 25: Tendence de la pression atmosphérique moyenne provenant du baromètre à mercure de la DGM pour le mois de Septembre

Cette figure affiche la courbe des pressions moyennes provenant du baromètre à mercure ainsi que la droite de régression linéaire représentant la tendance de la pression le long du mois de Septembre.

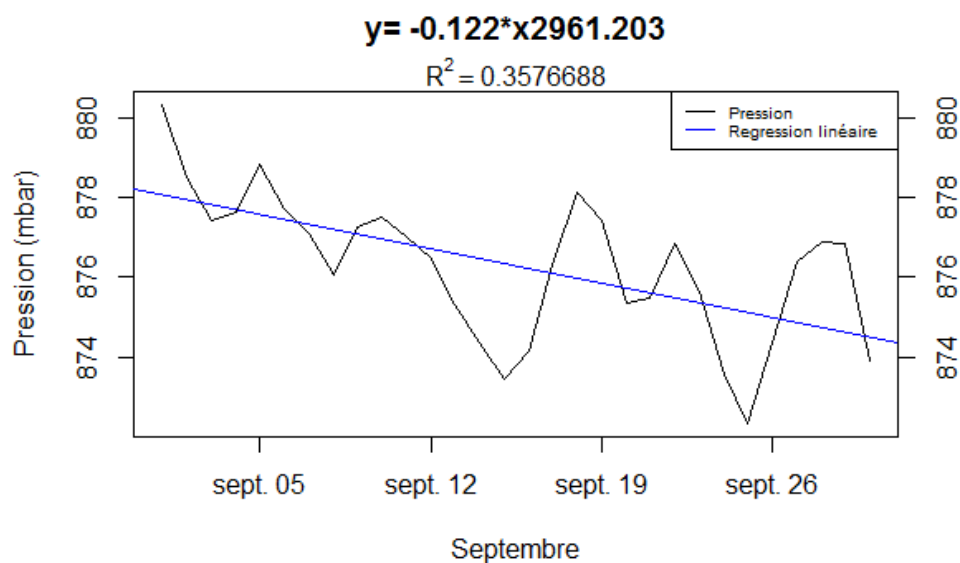


Figure 26: Tendence de la pression atmosphérique moyenne provenant du baromètre automatique de la DGM pour le mois de Septembre

Cette figure affiche la courbe des pressions moyennes provenant du baromètre automatique ainsi que la droite de régression linéaire représentant la tendance de la pression le long du mois de Septembre.

### III.1.1.2.1 Test paramétrique

#### ❖ Normalité

##### ➤ Pour le Baromètre automatique

###### - *Asymétrie*

$$G'_{A_1} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s'_A} \right)^3 \text{ avec } s'_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 1,7991$$

Application numérique:

$$G'_{A_1} = \frac{31}{(31-1)(31-2)} X (-6,5013) \text{ car } \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s'_A} \right)^3 = -6,5013$$

D'où

$$G'_{A_1} = -0,2402$$

###### - *Aplatissement*

$$G'_{A_2} = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s'_A} \right)^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

Application numérique:

$$G'_{A_2} = \frac{30(30+1)}{(30-1)(30-2)(30-3)} X 77,2120 - \frac{3(30-1)^2}{(30-2)(30-3)} \text{ car } \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s'_A} \right)^4 = 77,2120$$

D'où

$$G'_{A_2} = -0,0673$$

##### ➤ Pour le Baromètre à mercure

###### - *Asymétrie*

$$G'_{M_1} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s'_M} \right)^3 \text{ avec } s'_M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 1,8406$$

Application numérique:

$$G'_{M_1} = \frac{30}{(30-1)(30-2)} X 12,2601 \text{ car } \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s'_M} \right)^3 = 12,2601$$

D'où

$$G'_{M_1} = 0,4529$$

- **Aplatissement**

$$G'_{M_2} = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s'_M} \right)^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

Application numérique:

$$G'_{M_2} = \frac{30(30+1)}{(30-1)(30-2)(30-3)} \times 73,1092 - \frac{3(30-1)^2}{(30-2)(30-3)} \times \text{car} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s'_M} \right)^4 = 73,1092$$

D'où

$$G'_{M_2} = -0,2361$$

Conclusion: Les échantillons des deux séries de mesures de pressions provenant du baromètre automatique et du baromètre à mercure suivent bien une loi normale à 95% pour le mois de septembre car les valeurs de leurs aplatissements ainsi que les valeurs de leurs asymétries sont comprises entre -2 et 2.

❖ **Homogénéité des variances**

- **Calcul des variances**

$$Var(A) = \sigma_A = 3,2368$$

$$Var(M) = \sigma_M = 3,3878$$

- **Calcul du F de Fischer-Snedecor**

$$F = \frac{\sigma_M}{\sigma_A}$$

Application numérique:

$$F = \frac{3.3878}{3.2368} = 1,0466$$

D'où

$$F = 1,0466$$

Comparaison avec la valeur critique  $F_{0,95}(29,29) = 1,85$

$$\rightarrow F = 1,0466 [ < F_{0,95}(29,29) = 1,85 ]$$

Conclusion: Il n'y a pas de différence significative entre les deux variances des deux échantillons.

### ❖ Test z

Soit  $\mu$  la moyenne de la population

Test bilatéral

$$H_0: \mu_A = \mu_M$$

$$H_1: \mu_A \neq \mu_M$$

$$z = \frac{\mu_A - \mu_M}{\sqrt{\frac{s'^2_A}{n_A} + \frac{s'^2_M}{n_M}}} \rightarrow N(0,1)$$

Application numérique:

On a:

$$\mu_A = 876,3 ; \mu_M = 875,9 ; s'^2_M = 3,2368 ; s'^2_M = 3,3878 \text{ et } n_A = n_M = 30$$

$$z = \frac{876,3 - 875,9}{\sqrt{\frac{3,2368}{30} + \frac{3,3878}{30}}}$$

D'où

$$z = 0,8512$$

→  $z = 0,8512$  ( $< z_{1-\alpha/2=0,975} = 1,96$ ), donc différence non significative

Conclusion: L'hypothèse  $H_0$  désignant une absence de différence est retenue: « ici on ne met pas en évidence de différence entre les deux échantillons ».

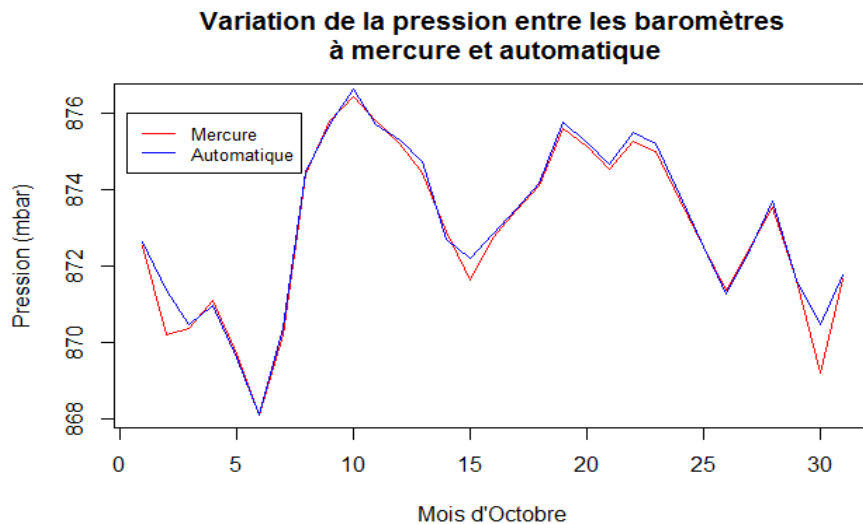
Une augmentation de  $0,4 \text{ mbar}$  n'est pas négligeable mais insuffisant pour montrer la supériorité de la moyenne des pressions provenant du baromètre automatique (A) sur la moyenne des pressions provenant du baromètre à mercure (M).

### III.1.1.3 Mois d'octobre 2016

Tableau 3: Pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique de la DGM pour le mois d'Octobre

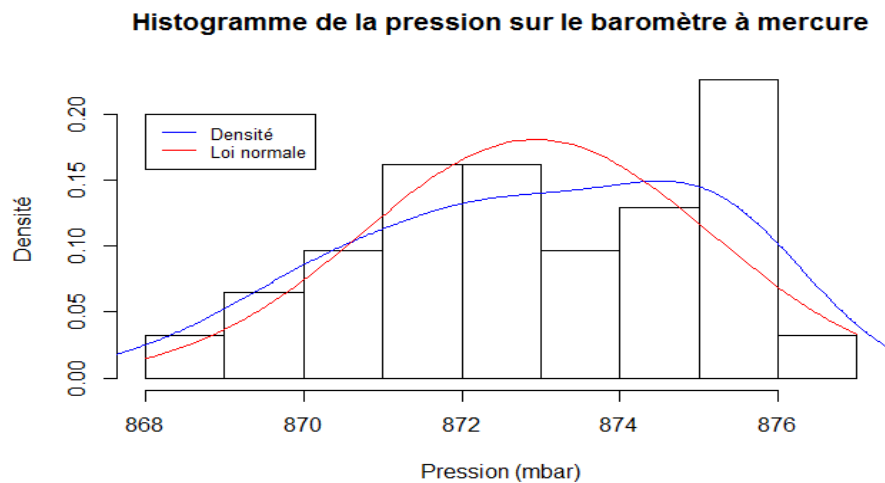
Jours	Pressions moyennes relevées sur le baromètre automatique (mbar)	Pressions moyennes relevées sur le baromètre à mercure (mbar)
01/10/16	872.7	872.6
02/10/16	871.4	870.2
03/10/16	870.5	870.4
04/10/16	871.0	871.1
05/10/16	869.6	869.7
06/10/16	868.1	868.1
07/10/16	870.4	870.2
08/10/16	874.5	874.4
09/10/16	875.7	875.8
10/10/16	876.6	876.4
11/10/16	875.7	875.8
12/10/16	875.3	875.2
13/10/16	874.8	874.5
14/10/16	872.7	872.9
15/10/16	872.2	871.6
16/10/16	872.8	872.7
17/10/16	873.5	873.5
18/10/16	874.2	874.1
19/10/16	875.8	875.6
20/10/16	875.3	875.2
21/10/16	874.7	874.6
22/10/16	875.5	875.3
23/10/16	875.2	875.0
24/10/16	873.9	873.7
25/10/16	872.5	872.5
26/10/16	871.3	871.4
27/10/16	872.4	872.5
28/10/16	873.7	873.6
29/10/16	871.7	871.6
30/10/16	870.5	869.2
31/10/16	871.8	871.7
Moyenne mensuelle	873.1	872.9

Le tableau ci-dessus présente les valeurs des pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique pour le mois d'Octobre.



*Figure 27: Représentation des pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et automatique de la DGM pour le mois d'Octobre*

La figure ci-dessus affiche l'évolution des pressions moyennes journalières provenant des baromètres à mercure et celle de la station automatique le long du mois d'Octobre. Elle nous donne clairement aussi la superposition des deux courbes montrant la différence ou l'écart existant aussi petit soit-il sur certains points.



*Figure 28: Présentation des pressions moyennes provenant du baromètre à mercure de la DGM par rapport à la loi normale pour le mois d'Octobre*

Cette figure affiche l'histogramme de la loi normale par rapport à la pression moyenne provenant du baromètre à mercure pour le mois d'Octobre.

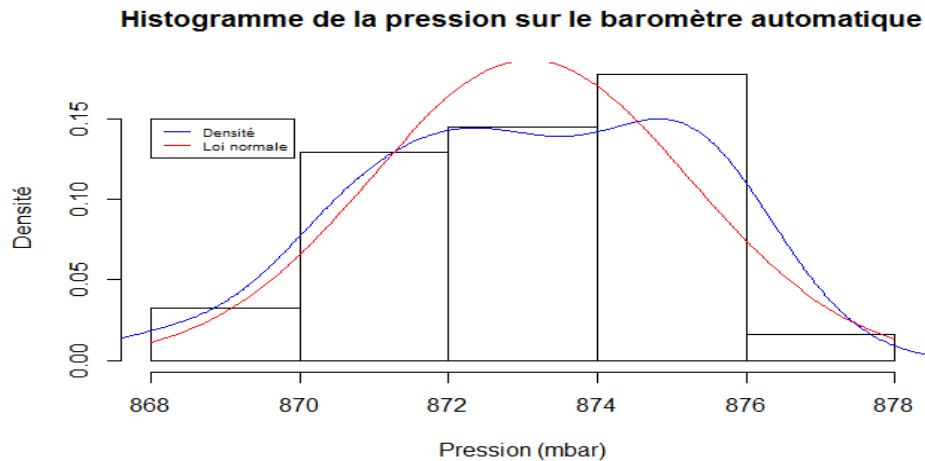


Figure 29: Présentation de la pression moyenne provenant du baromètre automatique de la DGM par rapport à la loi normale pour le mois d'Octobre

Cette figure affiche l'histogramme de la loi normale par rapport à la pression moyenne provenant du baromètre automatique pour le mois d'Octobre.

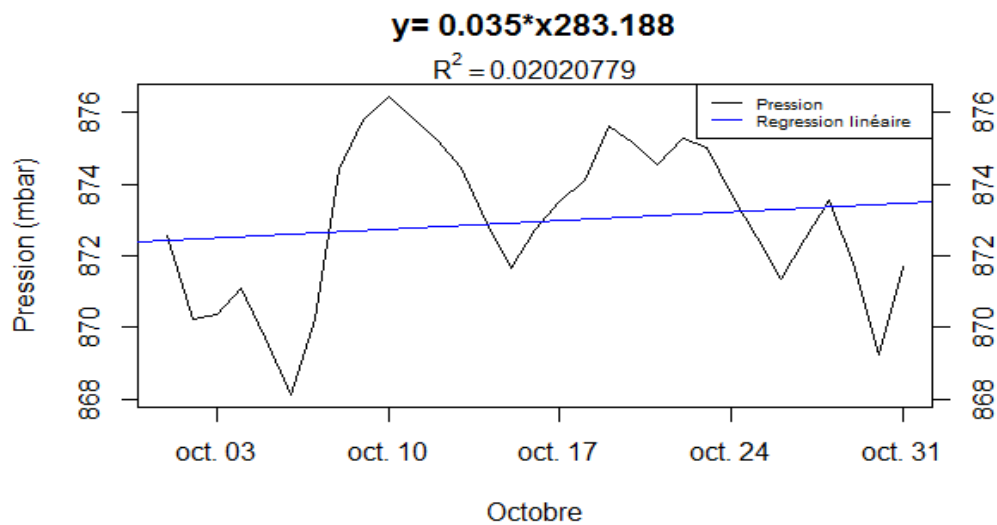


Figure 30: Tendence de la pression atmosphérique moyenne provenant du baromètre à mercure de la DGM pour le mois d'Octobre

Cette figure affiche la courbe des pressions moyennes provenant du baromètre à mercure ainsi que la droite de régression linéaire représentant la tendance de la pression pendant le mois d'Octobre.

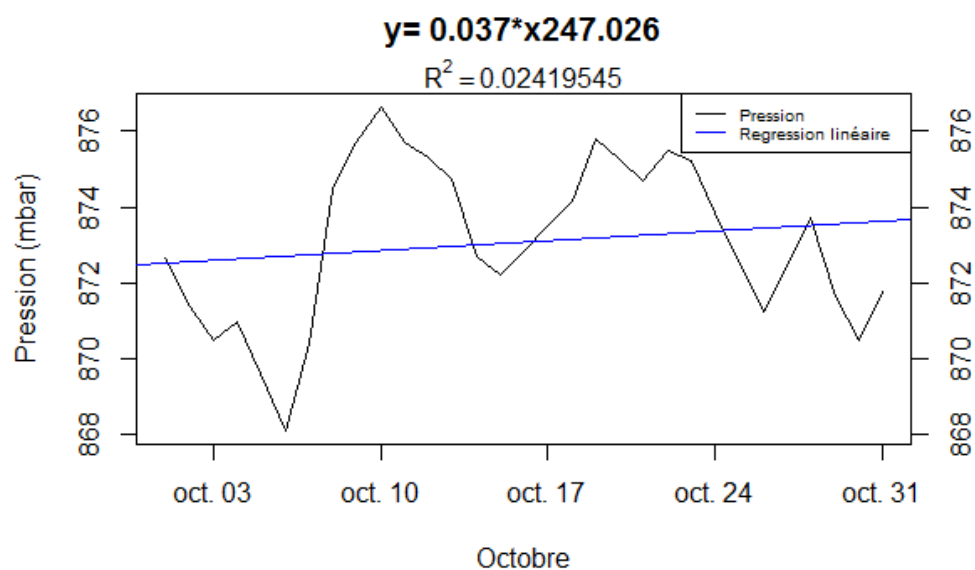


Figure 31: Tendence de la pression atmosphérique moyenne provenant du baromètre automatique de la DGM pour le mois d'Octobre

Cette figure affiche la courbe des pressions moyennes provenant du baromètre automatique ainsi que la droite de régression linéaire représentant la tendance de la pression pendant le mois d'Octobre.

### III.1.1.3.1 Test paramétrique

#### ❖ Normalité

##### ➤ Pour le Baromètre automatique

##### - *Asymétrie*

$$G''_{A_1} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s''_A} \right)^3$$

$$\text{Avec } s''_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2,1413$$

Application numérique:

$$G''_{A_1} = \frac{31}{(31-1)(31-2)} X (-9,6104) \text{ car } \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s''_A} \right)^3 = -9,6104$$

D'où

$$G''_{A_1} = -0,3424$$

##### - *Aplatissement*

$$G''_{A_2} = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s''_A} \right)^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

Application numérique:

$$G''_{A_2} = \frac{31(31+1)}{(31-1)(31-2)(31-3)} X 66,1672 - \frac{3(31-1)^2}{(31-2)(31-3)} \text{ car } \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s''_A} \right)^4 = 66,1672$$

D'où

$$G''_{A_2} = -0,6306$$

##### ➤ Pour le Baromètre à mercure

##### - *Asymétrie*

$$G''_{M_1} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s''_M} \right)^3 \text{ avec } s''_M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2,2075$$

Application numérique:

$$G''_{M_1} = \frac{31}{(31-1)(31-2)} X (-8,1134) \text{ car } \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s''_M} \right)^3 = -8,1134$$

D'où

$$G''_{M_1} = -0,2890$$

- **Aplatissement**

$$G''_{M_2} = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s''_M} \right)^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

Application numérique:

$$G''_{M_2} = \frac{30(30+1)}{(30-1)(30-2)(30-3)} \times 61,7632 - \frac{3(30-1)^2}{(30-2)(30-3)} \text{ car } \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s''_M} \right)^4 = 61,7632$$

D'où

$$G''_{M_2} = -0,8100$$

Conclusion: Les échantillons des deux séries de mesures de pressions provenant du baromètre automatique et du baromètre à mercure suivent bien une loi normale à 95% pour le mois d'Octobre car les valeurs de leurs aplatissements ainsi que les valeurs de leurs asymétries sont comprises entre -2 et 2.

❖ **Homogénéité des variances**

- **Calcul des variances**

$$Var(A) = \sigma_A = 4,5851$$

$$Var(M) = \sigma_M = 4,8715$$

- **Calcul du F de Fischer-Snedecor**

$$F = \frac{\sigma_M}{\sigma_A}$$

Application numérique:

$$F = \frac{4.8715}{4.5851} = 1,0625$$

D'où

$$F = 1,0625$$

Comparaison avec la valeur critique  $F_{0,95}(30,30) = 1,84$

$$\rightarrow F = 1,0625 [< F_{0,95}(30,30) = 1,84]$$

Conclusion: Il n'y a pas de différence significative entre les deux variances des deux échantillons.

### ❖ Test z

Soit  $\mu$  la moyenne de la population

Test bilatéral

$$H_0: \mu_A = \mu_M$$

$$H_1: \mu_A \neq \mu_M$$

$$z = \frac{\mu_A - \mu_M}{\sqrt{\frac{s''^2_A}{n_A} + \frac{s''^2_M}{n_M}}} \rightarrow N(0,1)$$

Application numérique:

On a:

$$\mu_A = 873,1 ; \mu_M = 872,9 ; s''^2_A = 4,5851 ; s''^2_M = 4,8715 \text{ et } n_A = n_M = 31$$

$$z = \frac{873,1 - 872,9}{\sqrt{\frac{4,5851}{31} + \frac{4,8715}{31}}} = 0,3621$$

D'où

$$z = 0,3621$$

→  $z = 0,7539$  ( $< z_{1-\alpha/2=0,975} = 1,96$ ), donc différence non significative

Conclusion: L'hypothèse  $H_0$  qui désigne une absence de différence est retenue: « Ici non plus on ne met pas en évidence de différence entre les deux échantillons pour le mois d'Octobre ».

Une augmentation de  $0,2 \text{ mbar}$  n'est pas négligeable mais insuffisant pour montrer la supériorité de la moyenne des pressions provenant du baromètre automatique (A) sur la moyenne des pressions provenant du baromètre à mercure (M).

## III.2 Interprétations

### III.2.1 Mois d'Août

D'après nos résultats obtenus sur la comparaison faite des deux séries de mesures de pression atmosphérique, l'écart type est faible et les deux courbes représentant les moyennes des données de pression provenant des baromètres à mercure et automatique sont presque confondues. Le test paramétrique réalisé nous a amené à admettre l'hypothèse  $H_0$ . La droite de régression linéaire pour les deux baromètres montre une tendance à la hausse de la pression.

Conclusion: Il y a non dispersion des données. Le test paramétrique ne montre pas de différence significative entre les moyennes (hypothèse  $H_0$ ) à 95% donc une homogénéité de la pression moyenne des deux séries de mesures provenant des baromètres à mercure et automatique. Cette tendance à la hausse de la pression atmosphérique prévoit une approche d'une cellule anticyclonique.

### III.2.2 Mois de Septembre

D'après nos résultats obtenus sur la comparaison des deux séries de mesures de pressions pendant ce mois, l'écart type est faible et les deux courbes représentant les moyennes des données de pression provenant des baromètres à mercure et automatique sont presque confondues. Le test paramétrique réalisé nous a amené à admettre l'hypothèse  $H_0$ . La droite de régression linéaire pour les deux baromètres montre une tendance à la baisse de la pression.

Conclusion: Il y a non dispersion des données. Le test paramétrique ne montre pas de différence significative entre les moyennes (hypothèse  $H_0$ ) à 95% donc une homogénéité de la pression moyenne des deux séries de mesures provenant des baromètres à mercure et automatique. Cette tendance à la baisse de la pression atmosphérique indique un petit rapprochement lent d'une dépression où l'affaiblissement progressif d'une cellule anticyclonique.

### III.2.3 Mois d'Octobre

Toujours d'après nos résultats obtenus sur la comparaison des deux séries de mesures de pressions, l'écart type est faible et les deux courbes représentant les moyennes des données de pression provenant des baromètres à mercure et automatique sont presque confondues. Le test paramétrique réalisé nous a conduit à admettre l'hypothèse  $H_0$ . La droite de régression linéaire pour les deux baromètres montre une tendance à la hausse de la pression.

Conclusion: Il y a non dispersion des données. Le test paramétrique ne montre pas de différence significative entre les moyennes (hypothèse  $H_0$ ) à 95% donc une homogénéité de la pression moyenne des deux séries de mesures provenant des baromètres à mercure et automatique. Cette tendance à la hausse de la pression atmosphérique annonce une approche d'une cellule anticyclonique.

## CONCLUSION GENERALE

L'étude faite ici, témoigne que les mesures du paramètre pression mettent en évidence un rapport satisfaisant entre les séries de données provenant du baromètre à mercure et du baromètre de la station automatique, les deux séries n'ont pas de différence significative. Sans doute, cette différence non significative est due au fait que les mesures faites étaient plus ou moins exactes pour les baromètres à mercure et celle de la station automatique et aussi par les caractéristiques techniques correctes des instruments. Dans tous les cas, cette situation nous a interpellés à une étude plus détaillée.

Bien que cela puisse nécessiter un calibrage, l'évaluation de l'homogénéité de données d'observations entre un appareil ou station à usage manuel ou classique avec un appareil ou station automatique peut, en fournissant des résultats satisfaisants, permettra la substitution d'appareils ou stations classiques par des appareils ou stations automatiques. Cette dernière peut poser une série de problèmes liés certainement à la nature de la station ou à la méthode d'observation mais les recherches sont de rigueur pour répondre aux besoins météorologiques actuels qui ne cessent d'accroître en ce qui concerne la précision des données.

## **BIBLIOGRAPHIE**

[1] MAHAMOUD M'saidié [Rapport de stage 2015]; consulté le 07 Février 2017

[2] OMM N°8[Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques]; consulté le 30 Août 2016

IOM N° 86 [Training material on metrology and calibration – OMM/TD N°1306]; consulté le 13 Mars 2017

SOUMAH Facinet [Comparaison entre une Station météo Automatique et une Station météo classique]; consulté le 22 Février 2017

## WEBOGRAPHIE

[a] [http://www.lnw.lu/Departements/Physique/personnel/reiyv/documents/4eme/cours\\_II,4.pdf](http://www.lnw.lu/Departements/Physique/personnel/reiyv/documents/4eme/cours_II,4.pdf)

[b] [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Station\\_m%C3%A9t%C3%A9orologique\\_automatique](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Station_m%C3%A9t%C3%A9orologique_automatique)

[c] <http%3A%2F%2Fpagailleux.com%2Fmedia%2Fblogs%2Fphotos%2Fdivers%2Fhectop.jpg>

[d] <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Barom%C3%A8tre>

[e] [http://www.meteoalecole.org/docs/Ressources/Ressources\\_scientifiques/ad\\_-\\_mesure\\_de\\_la\\_pression.pdf](http://www.meteoalecole.org/docs/Ressources/Ressources_scientifiques/ad_-_mesure_de_la_pression.pdf)

[f] <http://www.cons-dev.org/elearning/stat/parametrique/5-2/5-2.html>

[g] <http://udsmed.u-strasbg.fr/labiostat/IMG/pdf/moyennes.pdf>

# ANNEXES

## ANNEXE I: Relevé du Mois d'Août

Relevés du 1 <sup>er</sup> /08/2016 au 31/08/2016			
Date	Heures de prélèvement (TU)	Pressions relevées sur le Baromètre automatique (mbar)	Pressions relevées sur le Baromètre à mercure (mbar)
1 <sup>er</sup> /08/2016	03 TU	873.4	872.9
	04 TU	874.0	873.5
	06 TU	874.0	874.2
	09 TU	874.3	873.9
	12 TU	872.3	872.0
	14 TU	872.3	872.0
	15 TU	872.7	872.4
Moyenne journalière		873.3	873.0
02/08/2016	03 TU	874.4	874.0
	04 TU	874.7	874.3
	06 TU	875.8	875.2
	09 TU	874.3	875.0
	12 TU	875.4	875.0
	14 TU	872.6	872.3
	15 TU	872.8	872.6
Moyenne journalière		874.3	874.1
03/08/2016	03 TU	873.6	873.2
	04 TU	873.7	873.3
	06 TU	874.3	873.6
	09 TU	873.4	873.2
	12 TU	871.5	871.4
	14 TU	871.6	871.3
	15 TU	872.0	872.1
Moyenne journalière		872.9	872.6
04/08/2016	03 TU	874.6	874.2
	04 TU	875.0	874.5
	06 TU	876.0	875.4
	09 TU	875.0	874.8
	12 TU	873.3	873.2
	14 TU	873.8	873.7
	15 TU	874.2	873.6
Moyenne journalière		874.6	874.2
09/08/2016	03 TU	878.6	878.0
	04 TU	879.1	878.5
	06 TU	879.5	878.8
	09 TU	878.0	877.5
	12 TU	876.4	877.1
	14 TU	876.5	876.2
	15 TU	876.7	877.1
Moyenne journalière		877.8	877.6
10/08/2016	03 TU	876.9	876.5
	04 TU	877.1	876.7
	06 TU	877.2	876.8
	09 TU	875.7	875.4
	12 TU	873.7	873.7
	14 TU	874.4	873.9
	15 TU	874.4	874.2
Moyenne journalière		875.6	875.3
11/08/2016	03 TU	873.1	874.5
	04 TU	875.5	874.9
	06 TU	876.4	876.8
	09 TU	875.7	875.4
	12 TU	873.9	873.7
	14 TU	877.0	873.9
	15 TU	874.3	873.9
Moyenne journalière		875.1	874.7
12/08/2016	03 TU	875.4	875.0
	04 TU	875.6	875.3
	06 TU	876.7	876.2
	09 TU	875.7	876.4
	12 TU	874.1	874.4
	14 TU	874.6	874.1
	15 TU	874.8	874.2
Moyenne journalière		875.3	875.1

05/08/2016	03 TU	875.6	875.1
	04 TU	873.1	875.6
	06 TU	876.7	876.0
	09 TU	876.3	875.9
	12 TU	875.2	875.4
	14 TU	875.8	875.4
	15 TU	876.0	875.9
Moyenne journalière		875.5	875.6
06/08/2016	03 TU	877.4	876.6
	04 TU	877.7	877.3
	06 TU	878.6	877.9
	09 TU	877.5	877.7
	12 TU	876.3	876.2
	14 TU	876.7	876.3
	15 TU	877.4	876.5
Moyenne journalière		877.4	876.9
07/08/2016	03 TU	878.3	877.8
	04 TU	878.7	878.0
	06 TU	879.0	878.4
	09 TU	878.3	878.0
	12 TU	876.5	876.3
	14 TU	877.0	876.6
	15 TU	877.1	876.9
Moyenne journalière		877.8	877.4
08/08/2016	03 TU	878.8	878.2
	04 TU	879.4	878.7
	06 TU	880.3	879.5
	09 TU	878.8	878.4
	12 TU	876.9	876.9
	14 TU	877.5	877.2
	15 TU	877.9	877.4
Moyenne journalière		878.5	878.0
13/08/2016	03 TU	876.5	876.0
	04 TU	876.0	876.7
	06 TU	878.2	877.7
	09 TU	877.7	877.9
	12 TU	875.8	876.2
	14 TU	876.2	876.4
	15 TU	870.2	876.9
Moyenne journalière		875.8	876.8
14/08/2016	03 TU	878.8	878.3
	04 TU	879.1	878.3
	06 TU	879.6	879.1
	09 TU	878.5	878.1
	12 TU	876.6	876.4
	14 TU	877.6	877.2
	15 TU	878.0	877.8
Moyenne journalière		878.3	877.9
15/08/2016	03 TU	878.2	878.0
	04 TU	879.1	878.6
	06 TU	890.3	879.5
	09 TU	879.1	879.1
	12 TU	877.1	877.4
	14 TU	877.8	877.8
	15 TU	878.2	877.9
Moyenne journalière		880.0	878.3
16/08/2016	03 TU	879.2	878.6
	04 TU	879.6	879.1
	06 TU	890.3	879.1
	09 TU	879.1	878.9
	12 TU	877.1	877.0
	14 TU	877.8	877.3
	15 TU	878.2	877.8
Moyenne journalière		880.2	878.3

17/08/2016	03 TU	877.3	876.8
	04 TU	877.6	877.1
	06 TU	878.1	877.5
	09 TU	876.9	876.7
	12 TU	875.9	875.7
	14 TU	876.1	875.9
	15 TU	876.2	876.0
Moyenne journalière		876.9	876.5
18/08/2016	03 TU	876.9	876.6
	04 TU	876.1	876.8
	06 TU	878.1	877.3
	09 TU	876.9	876.5
	12 TU	874.6	874.0
	14 TU	875.1	874.6
	15 TU	874.3	874.8
Moyenne journalière		876.0	875.8
19/08/2016	03 TU	875.9	875.4
	04 TU	876.3	875.6
	06 TU	877.0	876.5
	09 TU	876.3	876.0
	12 TU	874.1	874.0
	14 TU	874.7	874.3
	15 TU	875.1	874.6
Moyenne journalière		875.6	875.2
20/08/2016	03 TU	875.6	875.2
	04 TU	876.0	875.3
	06 TU	876.2	875.7
	09 TU	874.9	874.7
	12 TU	873.0	872.9
	14 TU	872.8	872.8
	15 TU	872.7	872.7
Moyenne journalière		874.5	874.2

21/08/2016	03 TU	874.3	873.6
	04 TU	874.8	874.1
	06 TU	875.2	875.3
	09 TU	874.3	874.0
	12 TU	872.8	872.8
	14 TU	873.2	873.1
	15 TU	873.0	873.3
Moyenne journalière		873.9	873.7
22/08/2016	03 TU	875.3	875.1
	04 TU	875.9	875.2
	06 TU	876.6	876.0
	09 TU	875.4	875.1
	12 TU	874.5	874.8
	14 TU	875.0	874.9
	15 TU	875.4	875.1
Moyenne journalière		875.4	875.2
23/08/2016	03 TU	876.3	875.8
	04 TU	876.9	876.1
	06 TU	877.2	876.7
	09 TU	876.0	876.5
	12 TU	875.1	875.0
	14 TU	875.7	875.2
	15 TU	876.1	875.9
Moyenne journalière		876.2	875.9
24/08/2016	03 TU	875.5	875.3
	04 TU	875.8	875.3
	06 TU	876.2	875.6
	09 TU	875.7	875.5
	12 TU	874.7	874.4
	14 TU	875.2	874.9
	15 TU	874.9	875.2
Moyenne journalière		875.4	875.2

25/08/2016	03 TU	876.0	875.4
	04 TU	876.9	876.2
	06 TU	877.2	876.7
	09 TU	875.5	875.7
	12 TU	874.8	874.6
	14 TU	875.3	875.1
	15 TU	875.6	875.2
Moyenne journalière		875.9	875.6
26/08/2016	03 TU	876.2	876.1
	04 TU	870.0	876.9
	06 TU	878.4	877.9
	09 TU	876.8	876.5
	12 TU	875.4	875.0
	14 TU	875.2	875.1
	15 TU	876.4	876.1
Moyenne journalière		875.5	876.2
27/08/2016	03 TU	878.5	878.0
	04 TU	879.4	878.2
	06 TU	879.9	879.3
	09 TU	878.8	878.5
	12 TU	878.0	877.9
	14 TU	879.0	878.3
	15 TU	879.3	879.2
Moyenne journalière		879.0	878.5
28/08/2016	03 TU	879.3	879.5
	04 TU	879.8	879.9
	06 TU	881.0	880.4
	09 TU	880.2	880.8
	12 TU	880.7	880.3
	14 TU	882.2	880.4
	15 TU	884.3	880.6
Moyenne journalière		879.1	880.3

29/10/2016	03 TU	873.0	872.8
	04 TU	873.4	873.3
	06 TU	873.5	873.4
	09 TU	871.7	871.5
	12 TU	869.2	869.4
	14 TU	869.9	870.0
	15 TU	870.9	871.0
Moyenne journalière		871.7	871.6
30/10/2016	03 TU	871.3	871.2
	04 TU	871.6	871.6
	06 TU	872.1	871.9
	09 TU	870.8	870.6
	12 TU	869.1	876.1
	14 TU	869.1	876.4
	15 TU	869.4	876.8
Moyenne journalière		870.5	873.5
31/10/2016	03 TU	871.7	871.7
	04 TU	872.7	872.5
	06 TU	873.2	873.1
	09 TU	872.1	871.9
	12 TU	870.7	870.6
	14 TU	870.9	870.9
	15 TU	871.1	871.1
Moyenne journalière		871.8	871.7

## ANNEXE II: Relevé du mois de Septembre

Relevés du 1 <sup>er</sup> /09/2016 au 30/09/2016			
Date	Heures de prélèvement (TU)	Pressions relevées sur le Baromètre automatique (mbar)	Pressions relevées sur le Baromètre à mercure (mbar)
1 <sup>er</sup> /09/2016	03 TU	880.1	879.7
	04 TU	880.5	879.9
	06 TU	881.1	880.4
	09 TU	880.6	880.3
	12 TU	879.5	879.2
	14 TU	880.1	879.6
	15 TU	880.4	879.8
Moyenne journalière		880.3	879.8
02/09/2016	03 TU	878.5	878.0
	04 TU	879.2	878.4
	06 TU	879.4	878.3
	09 TU	878.2	879.0
	12 TU	877.6	877.4
	14 TU	878.2	877.4
	15 TU	878.3	877.8
Moyenne journalière		878.5	878.0
03/09/2016	03 TU	878.0	877.5
	04 TU	878.2	877.6
	06 TU	878.9	877.9
	09 TU	878.7	877.9
	12 TU	876.3	876.2
	14 TU	875.8	875.9
	15 TU	876.2	876.3
Moyenne journalière		877.4	877.0
04/09/2016	03 TU	876.3	876.6
	04 TU	877.7	877.4
	06 TU	878.9	878.3
	09 TU	878.0	877.7
	12 TU	876.5	876.2
	14 TU	877.8	876.3
	15 TU	878.2	877.6
Moyenne journalière		877.6	877.2

05/09/2016	03 TU	879.1	878.4
	04 TU	879.7	879.0
	06 TU	880.4	879.7
	09 TU	879.0	878.8
	12 TU	877.5	877.0
	14 TU	877.8	877.5
	15 TU	878.2	878.3
Moyenne journalière		878.8	878.4
06/09/2016	03 TU	878.1	877.7
	04 TU	878.4	877.9
	06 TU	878.0	878.2
	09 TU	878.8	877.6
	12 TU	876.6	876.1
	14 TU	877.8	876.1
	15 TU	876.3	876.1
Moyenne journalière		877.7	877.1
07/09/2016	03 TU	877.7	877.3
	04 TU	877.7	877.3
	06 TU	878.1	877.2
	09 TU	876.7	876.4
	12 TU	878.8	874.5
	14 TU	875.3	874.8
	15 TU	875.3	875.1
Moyenne journalière		877.1	876.1
08/09/2016	03 TU	876.8	876.3
	04 TU	877.2	876.4
	06 TU	877.9	877.3
	09 TU	875.7	875.7
	12 TU	874.7	874.5
	14 TU	874.9	874.7
	15 TU	875.1	875.2
Moyenne journalière		876.0	875.7

09/09/2016	03 TU	877.7	877.1
	04 TU	878.0	877.6
	06 TU	878.8	878.2
	09 TU	877.1	876.6
	12 TU	875.7	875.4
	14 TU	877.1	xxxx
	15 TU	876.4	xxxx
Moyenne journalière		877.3	877.0
10/09/2016	03 TU	878.0	877.4
	04 TU	878.4	877.7
	06 TU	878.9	878.5
	09 TU	876.6	878.5
	12 TU	875.8	876.9
	14 TU	877.0	877.1
	15 TU	877.8	877.8
Moyenne journalière		877.5	877.7
11/09/2016	03 TU	877.5	877.1
	04 TU	878.2	877.5
	06 TU	878.5	877.9
	09 TU	877.0	876.8
	12 TU	875.8	875.4
	14 TU	875.9	875.5
	15 TU	876.1	875.9
Moyenne journalière		877.0	876.6
12/09/2016	03 TU	877.2	876.7
	04 TU	877.7	877.2
	06 TU	878.3	877.7
	09 TU	876.7	876.3
	12 TU	874.3	874.5
	14 TU	875.4	874.9
	15 TU	875.6	875.1
Moyenne journalière		876.5	876.1

13/09/2016	03 TU	875.9	875.1
	04 TU	876.4	875.7
	06 TU	876.8	876.4
	09 TU	875.5	875.3
	12 TU	873.9	873.8
	14 TU	873.9	874.1
	15 TU	874.8	874.6
Moyenne journalière		875.3	875.0
14/09/2016	03 TU	875.8	875.0
	04 TU	875.7	875.2
	06 TU	876.1	875.5
	09 TU	874.5	874.1
	12 TU	872.4	872.4
	14 TU	872.8	873.7
	15 TU	873.3	873.0
Moyenne journalière		874.4	874.1
15/09/2016	03 TU	874.6	873.9
	04 TU	875.2	874.4
	06 TU	875.1	873.9
	09 TU	873.4	873.0
	12 TU	871.2	871.1
	14 TU	872.0	871.8
	15 TU	872.5	872.2
Moyenne journalière		873.4	872.9
16/09/2016	03 TU	874.5	873.8
	04 TU	875.3	874.9
	06 TU	876.0	875.5
	09 TU	874.2	873.8
	12 TU	872.4	872.2
	14 TU	872.6	872.6
	15 TU	874.1	873.7
Moyenne journalière		874.2	873.8

17/09/2016	03 TU	875.8	875.7
	04 TU	876.6	876.1
	06 TU	877.3	876.7
	09 TU	876.7	876.6
	12 TU	875.8	875.3
	14 TU	875.6	875.5
	15 TU	876.2	876.2
Moyenne journalière		876.3	876.0
18/09/2016	03 TU	877.9	877.2
	04 TU	878.3	877.5
	06 TU	879.4	878.9
	09 TU	878.3	878.3
	12 TU	877.2	877.0
	14 TU	877.9	876.9
	15 TU	877.8	877.4
Moyenne journalière		878.1	877.6
19/09/2016	03 TU	877.7	877.0
	04 TU	877.9	877.6
	06 TU	878.9	878.3
	09 TU	877.9	877.5
	12 TU	876.4	876.2
	14 TU	876.6	876.1
	15 TU	876.7	876.3
Moyenne journalière		877.4	877.0
20/09/2016	03 TU	876.4	875.7
	04 TU	877.2	875.6
	06 TU	877.0	876.3
	09 TU	875.3	874.8
	12 TU	873.4	873.2
	14 TU	873.9	873.6
	15 TU	874.3	874.0
Moyenne journalière		875.4	874.7

21/09/2016	03 TU	875.9	875.3
	04 TU	876.4	875.8
	06 TU	877.3	876.5
	09 TU	875.5	875.0
	12 TU	873.6	873.5
	14 TU	874.2	875.0
	15 TU	875.5	875.1
Moyenne journalière		875.5	875.2
22/09/2016	03 TU	877.2	876.7
	04 TU	877.6	877.0
	06 TU	878.7	877.0
	09 TU	877.1	876.6
	12 TU	875.4	875.1
	14 TU	875.9	875.4
	15 TU	875.9	875.4
Moyenne journalière		876.8	876.2
23/09/2016	03 TU	876.5	875.9
	04 TU	876.9	876.2
	06 TU	877.3	876.7
	09 TU	876.0	875.6
	12 TU	873.9	873.7
	14 TU	874.4	873.9
	15 TU	874.5	874.1
Moyenne journalière		875.6	875.2
24/09/2016	03 TU	874.6	874.1
	04 TU	875.4	874.3
	06 TU	875.4	875.0
	09 TU	874.0	874.0
	12 TU	871.3	871.1
	14 TU	872.0	871.6
	15 TU	872.3	871.7
Moyenne journalière		873.6	873.1

25/09/2016	03 TU	873.0	872.3
	04 TU	873.6	873.2
	06 TU	873.0	873.1
	09 TU	872.7	872.3
	12 TU	870.8	870.9
	14 TU	871.2	871.4
	15 TU	872.0	871.6
Moyenne journalière		872.3	872.1
26/09/2016	03 TU	873.7	873.6
	04 TU	874.7	874.9
	06 TU	875.4	875.0
	09 TU	875.1	875.2
	12 TU	873.4	873.3
	14 TU	873.8	873.5
	15 TU	874.3	874.0
Moyenne journalière		874.3	874.2
27/09/2016	03 TU	876.0	873.6
	04 TU	876.8	874.9
	06 TU	877.7	875.0
	09 TU	876.9	875.2
	12 TU	875.4	873.3
	14 TU	875.9	875.8
	15 TU	876.2	875.8
Moyenne journalière		876.4	874.8
28/09/2016	03 TU	877.2	876.5
	04 TU	877.7	876.8
	06 TU	876.5	875.5
	09 TU	877.9	876.7
	12 TU	876.8	876.3
	14 TU	876.4	875.6
	15 TU	876.9	876.0
Moyenne journalière		877.1	876.2

29/09/2016	03 TU	877.8	877.2
	04 TU	878.1	877.8
	06 TU	878.5	878.1
	09 TU	876.5	876.4
	12 TU	874.8	874.1
	14 TU	877.1	876.5
	15 TU	875.2	874.3
Moyenne journalière		876.9	876.3
30/09/2016	03 TU	874.6	874.2
	04 TU	875.1	874.6
	06 TU	875.7	875.3
	09 TU	874.3	873.9
	12 TU	872.0	872.0
	14 TU	872.6	872.4
	15 TU	873.2	873.0
Moyenne journalière		873.9	873.6

# ANNEXE III: Relevé du mois d'Octobre

Relevés du 1 <sup>er</sup> /10/2016 au 31/10/2016			
Date	Heures de prélèvement	Pressions relevées sur le Baromètre automatique (mbar)	Pressions relevées sur le Baromètre à mercure (mbar)
1 <sup>er</sup> /10/2016	03 TU	872.8	873.0
	04 TU	873.8	873.3
	06 TU	873.6	873.5
	09 TU	873.3	873.3
	12 TU	872.4	872.2
	14 TU	871.3	871.3
	15 TU	871.4	871.3
Moyenne journalière		872.7	872.6
02/10/2016	03 TU	878.9	871.6
	04 TU	872.5	871.9
	06 TU	872.1	871.9
	09 TU	870.5	870.3
	12 TU	868.5	868.4
	14 TU	868.2	868.4
	15 TU	868.9	869.0
Moyenne journalière		871.4	870.2
03/10/2016	03 TU	870.8	870.6
	04 TU	871.4	870.9
	06 TU	872.2	871.7
	09 TU	870.9	871.3
	12 TU	869.4	869.2
	14 TU	869.3	869.4
	15 TU	869.3	869.4
Moyenne journalière		870.5	870.4
04/10/2016	03 TU	871.8	871.3
	04 TU	872.2	872.0
	06 TU	872.4	872.1
	09 TU	870.8	870.9
	12 TU	870.0	870.5
	14 TU	869.5	871.0
	15 TU	870.0	869.9
Moyenne journalière		871.0	871.1

09/10/2016	03 TU	876.4	875.9
	04 TU	877.1	876.9
	06 TU	877.3	877.1
	09 TU	875.9	876.4
	12 TU	874.3	874.3
	14 TU	874.1	874.7
	15 TU	875.0	875.3
Moyenne journalière		875.7	875.8
10/10/2016	03 TU	877.0	876.4
	04 TU	877.4	877.0
	06 TU	877.6	877.4
	09 TU	877.4	877.4
	12 TU	875.2	875.4
	14 TU	875.9	875.6
	15 TU	876.0	875.9
Moyenne journalière		876.6	876.4
11/10/2016	03 TU	875.8	876.0
	04 TU	876.6	876.7
	06 TU	877.0	876.9
	09 TU	876.2	876.4
	12 TU	874.8	874.6
	14 TU	874.7	874.8
	15 TU	874.9	875.4
Moyenne journalière		875.7	875.8
12/10/2016	03 TU	875.6	875.7
	04 TU	876.8	876.5
	06 TU	876.9	876.9
	09 TU	875.5	875.3
	12 TU	873.5	873.5
	14 TU	874.1	874.3
	15 TU	874.7	874.4
Moyenne journalière		875.3	875.2

05/10/2016	03 TU	871.2	870.9
	04 TU	870.2	870.4
	06 TU	871.2	871.0
	09 TU	869.4	869.2
	12 TU	867.5	869.2
	14 TU	868.8	868.9
	15 TU	869.0	869.0
Moyenne journalière		869.6	869.7
06/10/2016	03 TU	869.4	869.7
	04 TU	869.7	869.6
	06 TU	869.7	869.9
	09 TU	868.0	867.9
	12 TU	866.2	866.3
	14 TU	866.5	866.4
	15 TU	867.2	867.0
Moyenne journalière		868.1	868.1
07/10/2016	03 TU	870.1	870.0
	04 TU	870.9	870.4
	06 TU	871.8	871.3
	09 TU	870.6	870.7
	12 TU	869.6	869.6
	14 TU	869.7	869.6
	15 TU	870.1	869.9
Moyenne journalière		870.4	870.2
08/10/2016	03 TU	874.2	873.9
	04 TU	874.9	874.6
	06 TU	875.6	875.3
	09 TU	874.9	875.1
	12 TU	873.8	874.0
	14 TU	873.8	873.9
	15 TU	874.1	874.0
Moyenne journalière		874.5	874.4

13/10/2016	03 TU	876.0	875.7
	04 TU	876.4	875.9
	06 TU	876.8	876.4
	09 TU	874.3	874.1
	12 TU	872.3	872.3
	14 TU	872.7	872.3
	15 TU	872.7	872.3
Moyenne journalière		874.8	874.5
14/10/2016	03 TU	874.2	874.0
	04 TU	874.7	874.4
	06 TU	875.0	874.7
	09 TU	873.1	873.0
	12 TU	869.7	871.4
	14 TU	870.4	871.3
	15 TU	871.9	871.6
Moyenne journalière		872.7	872.9
15/10/2016	03 TU	872.0	872.0
	04 TU	872.6	872.5
	06 TU	872.9	872.9
	09 TU	872.0	872.0
	12 TU	871.7	870.6
	14 TU	871.9	870.6
	15 TU	872.4	870.8
Moyenne journalière		872.2	871.6
16/10/2016	03 TU	872.6	872.6
	04 TU	872.7	872.7
	06 TU	874.6	874.5
	09 TU	874.0	873.6
	12 TU	871.7	871.7
	14 TU	871.9	871.8
	15 TU	872.4	872.2
Moyenne journalière		872.8	872.7

17/10/2016	03 TU	873.9	873.9
	04 TU	874.6	874.7
	06 TU	875.1	874.9
	09 TU	873.6	873.8
	12 TU	872.1	872.3
	14 TU	872.5	872.2
	15 TU	872.8	872.6
Moyenne journalière		873.5	873.5
18/10/2016	03 TU	874.6	874.1
	04 TU	875.0	874.8
	06 TU	875.8	875.5
	09 TU	874.0	873.9
	12 TU	872.5	872.6
	14 TU	873.1	873.7
	15 TU	873.1	873.7
Moyenne journalière		874.2	874.1
19/10/2016	03 TU	875.8	875.8
	04 TU	876.5	876.0
	06 TU	877.4	877.0
	09 TU	876.3	876.0
	12 TU	874.5	874.5
	14 TU	874.8	874.8
	15 TU	875.2	875.3
Moyenne journalière		875.8	875.6
20/10/2016	03 TU	876.4	876.4
	04 TU	876.9	876.4
	06 TU	876.8	876.6
	09 TU	874.9	874.9
	12 TU	873.1	873.6
	14 TU	873.9	873.5
	15 TU	874.8	874.7
Moyenne journalière		875.3	875.2

25/10/2016	03 TU	873.3	872.9
	04 TU	873.1	873.2
	06 TU	874.7	874.4
	09 TU	873.7	873.6
	12 TU	870.8	871.0
	14 TU	870.9	871.1
	15 TU	871.1	871.3
Moyenne journalière		872.5	872.5
26/10/2016	03 TU	872.6	873.0
	04 TU	872.9	873.1
	06 TU	873.2	873.2
	09 TU	871.4	871.6
	12 TU	869.1	869.3
	14 TU	869.7	869.6
	15 TU	869.9	869.7
Moyenne journalière		871.3	871.4
27/10/2016	03 TU	872.7	873.2
	04 TU	873.4	873.3
	06 TU	874.2	873.9
	09 TU	872.7	872.8
	12 TU	870.3	870.7
	14 TU	871.6	871.5
	15 TU	872.1	872.0
Moyenne journalière		872.4	872.5
28/10/2016	03 TU	874.6	874.5
	04 TU	875.4	875.1
	06 TU	875.7	875.6
	09 TU	875.2	875.1
	12 TU	871.1	871.3
	14 TU	871.8	871.1
	15 TU	872.1	872.2
Moyenne journalière		873.7	873.6

21/10/2016	03 TU	875.0	874.8
	04 TU	875.9	875.8
	06 TU	876.1	875.7
	09 TU	874.4	875.1
	12 TU	872.9	872.9
	14 TU	874.2	873.6
	15 TU	874.3	874.0
Moyenne journalière		874.7	874.6
22/10/2016	03 TU	876.2	876.0
	04 TU	876.6	876.3
	06 TU	877.3	876.9
	09 TU	875.3	875.1
	12 TU	874.0	874.0
	14 TU	874.3	874.1
	15 TU	874.8	874.5
Moyenne journalière		875.5	875.3
23/10/2016	03 TU	875.7	874.9
	04 TU	876.1	875.3
	06 TU	876.1	876.2
	09 TU	875.2	875.2
	12 TU	874.0	874.5
	14 TU	873.9	874.0
	15 TU	870.0	870.0
Moyenne journalière		762.6	762.4
24/10/2016	03 TU	875.1	874.8
	04 TU	875.5	875.1
	06 TU	875.6	875.2
	09 TU	873.9	873.8
	12 TU	871.7	871.7
	14 TU	872.6	872.6
	15 TU	872.7	872.9
Moyenne journalière		873.9	873.7

29/10/2016	03 TU	873.0	872.8
	04 TU	873.4	873.3
	06 TU	873.5	873.4
	09 TU	871.7	871.5
	12 TU	869.2	869.4
	14 TU	869.9	870.0
	15 TU	870.9	871.0
Moyenne journalière		871.7	871.6
30/10/2016	03 TU	871.3	871.2
	04 TU	871.6	871.6
	06 TU	872.1	871.9
	09 TU	870.8	870.6
	12 TU	869.1	876.1
	14 TU	869.1	876.4
	15 TU	869.4	876.8
Moyenne journalière		870.5	873.5
31/10/2016	03 TU	871.7	871.7
	04 TU	872.7	872.5
	06 TU	873.2	873.1
	09 TU	872.1	871.9
	12 TU	870.7	870.6
	14 TU	870.9	870.9
	15 TU	871.1	871.1
Moyenne journalière		871.8	871.7

## ANNEXE IV: Exemple de calcul sur l'expérience du verre rempli d'eau pour la démonstration de l'existence de la pression atmosphérique

Supposons que le verre a une hauteur  $h = 15\text{cm}$  et que le rayon d'ouverture vaut

$r = 3\text{ cm}$  (surface de contact entre le verre et le carton :  $S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (3\text{ cm})^2 = 28,3\text{ cm}^2 = 0,00283\text{ m}^2$ )

La pression hydrostatique de l'eau au niveau de la feuille de carton vaut alors :

$$p_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}} \cdot g \cdot h = 1000\text{ kg/m}^3 \cdot 9,81\text{ N/kg} \cdot 0,15\text{ m} = 1472\text{ Pa}$$

La norme de la force  $\vec{F}_{\text{eau}}$  vaut alors :

$$F_{\text{eau}} = p_{\text{eau}} \cdot S = 1472\text{ N/m}^2 \cdot 0,00283\text{ m}^2 = 4,17\text{ N}$$

Si on suppose que la masse du carton a une valeur de  $m = 10\text{g}$ , son poids vaut :

$$P_{\text{carton}} = m \cdot g = 0,01\text{ kg} \cdot 9,81\text{ N/kg} = 0,1\text{ N}$$

Le carton est donc poussé vers le bas avec une force résultante  $\vec{F}_{\text{descendante}}$  de norme égale à  $F_{\text{descendante}} = 4,17\text{ N} + 0,1\text{ N} = 4,27\text{ N}$

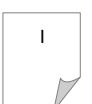
Si on suppose la pression atmosphérique égale à  $p_{\text{atm}} = 1013\text{ hPa}$ , la norme de la force  $\vec{F}_{\text{atm}}$  vaut :

$$F_{\text{atm}} = p_{\text{atm}} \cdot S = 101300\text{ N/m}^2 \cdot 0,00283\text{ m}^2 = 286,7\text{ N}$$

Comme c'est la seule force qui pousse le carton vers le haut, on a :  $F_{\text{descendante}} = 4,27\text{ N}$

On voit donc clairement que  $F_{\text{ascendante}} \gg F_{\text{descendante}}$  : le carton ne peut pas tomber (même si la hauteur du verre serait encore considérablement plus élevée !).

Remarque : s'il reste des bulles d'air dans l'eau, alors la pression hydrostatique au-dessus du carton est augmentée de  $p_{\text{atm}}$  (comme la pression dans les bulles d'air enfermées vaut aussi  $p_{\text{atm}}$ ). La pression totale au-dessus du carton devient donc égale à  $p_{\text{eau}} + p_{\text{atm}}$ . Or, en-dessous du carton la pression ne vaut que  $p_{\text{atm}}$  : La feuille de carton va tomber.





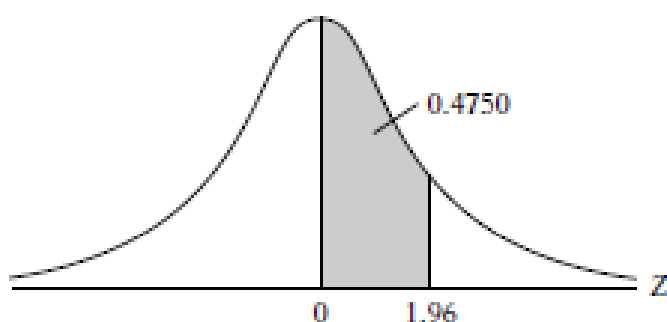
## ANNEXE VI: Table de la loi normale

### AREAS UNDER THE STANDARDIZED NORMAL DISTRIBUTION

#### Example

$$\Pr(0 \leq Z \leq 1.96) = 0.4750$$

$$\Pr(Z \geq 1.96) = 0.5 - 0.4750 = 0.025$$



Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0753
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2257	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2517	.2549
0.7	.2580	.2611	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2995	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4454	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.4987	.4987	.4987	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990

# TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS .....	i
SOMMAIRE.....	ii
LISTE DES ABREVIATIONS.....	iii
LISTE DES SYMBOLES .....	iv
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES ANNEXES .....	viii
INTRODUCTION .....	1
PARTIE I: CONTEXTE GENERAL .....	2
I.1 Présentation du lieu d'étude.....	3
I.1.1 Historique .....	3
I.1.2 Organisation .....	3
I.1.3 Missions.....	4
I.1.4 Organigramme de la Direction Générale de la Météorologie Malagasy.....	5
I.2 Généralités .....	6
I.2.1 Pression atmosphérique.....	6
I.2.1.1 L'atmosphère .....	6
I.2.1.2 Poussée d'Archimède atmosphérique .....	7
I.2.1.3 Expériences démontrant l'existence de la pression atmosphérique .....	7
I.2.1.3.1 Expérience du crève-vessie .....	7
I.2.1.3.2 Expérience du verre rempli d'eau .....	8
I.2.1.3.3 Expérience des hémisphères de Magdebourg .....	9
I.2.1.4 Mesure de la pression atmosphérique.....	9
I.2.1.5 Interprétation des mesures de la pression atmosphérique .....	9
PARTIE II: MATERIELS ET METHODES UTILISES .....	11
II.1 Instruments de mesure utilisés .....	12
II.1.1 Station automatique .....	12
II.1.1.1 Historique .....	12
II.1.1.2 Définition .....	13
II.1.2 Baromètre à mercure .....	15
II.1.2.1 Historique .....	15
II.1.2.2. Définition .....	16
II.2 Fonctionnement et méthodes de mesure utilisées.....	17
II.2.1 Baromètre de la station automatique.....	17

II.2.1.1 Lecture du baromètre automatique.....	17
II.2.2 Baromètre à mercure .....	17
II.2.2.1 Principe fondamental et mesure.....	17
II.2.2.2 Réduction de la pression atmosphérique mesurée à des niveaux différents.....	19
II.2.2.3 Correction des lectures du baromètre aux conditions normales .....	19
II.2.3 Méthodologie .....	21
II.2.3.1 Traitement des données de pression atmosphérique.....	21
II.2.3.2 Test paramétrique .....	21
II.2.3.3 Résultats attendus.....	23
PARTIE III: RESULTATS ET INTERPRETATIONS .....	24
III.1 Résultats.....	25
III.1.1 Résultats de la comparaison des données de pressions relevées à la Station d'Ampandrianomby sur un trimestre .....	25
III.1.1.1 Mois d'Août 2016 .....	25
III.1.1.1.1 Test paramétrique .....	29
III.1.1.2 Mois de Septembre 2016.....	32
III.1.1.2.1 Test paramétrique .....	36
III.1.1.3 Mois d'octobre 2016 .....	39
III.1.1.3.1 Test paramétrique .....	43
III.2 Interprétations .....	46
III.2.1 Mois d'Août .....	46
III.2.2 Mois de Septembre .....	46
III.2.3 Mois d'Octobre .....	46
CONCLUSION GENERALE .....	47
BIBLIOGRAPHIE .....	A
WEBOGRAPHIE.....	B
ANNEXES .....	C
ANNEXE I: Relevé du Mois d'Août .....	C
ANNEXE II: Relevé du mois de Septembre.....	E
ANNEXE III: Relevé du mois d'Octobre .....	G
ANNEXE IV: Exemple de calcul sur l'expérience du verre rempli d'eau pour la démonstration de l'existence de la pression atmosphérique .....	I
ANNEXE V: Table de Fischer-Snedecor .....	J
ANNEXE VI: Table de la loi normale .....	K
TABLE DES MATIERES .....	K

**Titre: « REALISATION D'UN TEST PARAMETRIQUE D'UNE SERIE DE MESURES DE PRESSION ATMOSPHERIQUE ISSUE DES BAROMETRES À MERCURE ET AUTOMATIQUE »**

**Cas de la station d'Ampandrianomby**

**Auteur:** *WAKIDOU Ankidine Zakaria*

**Adresse de l'auteur:** Lot VT 85 HBL Andohanimandroseza Antananarivo 101

**E-mail:** wakidou\_az@yahoo.fr

**Téléphone:** +261 34 33 537 91

**Nombre de pages :** 47

**Nombre de figures :** 31

**Nombre de tableaux :** 3

**Nombre des annexes :** 6

**Résumé**

L'homogénéité ou l'existence d'une différence entre les moyennes des deux séries de données d'un même paramètre "pression" provenant de deux appareils différents l'un à usage manuel et l'autre automatique, se trouvant dans une même station et à la même altitude nécessite une étude détaillée et une comparaison adaptée aux échantillons qui ont fait l'objet de notre étude. Dans cette optique, l'utilisation d'un test paramétrique nous a paru la plus adéquate pour mener à bien cette étude.

Notre travail s'est basé, au début, sur le traitement des données des deux séries de mesures par le calcul de leurs moyennes journalières respectives sur une durée de trois mois nous permettant la facilité de la suite des calculs. Ensuite, nous avons réalisé des tests statistiques appuyés par des hypothèses mettant en évidence la comparaison des moyennes afin de déceler s'il y a homogénéité ou d'éventuelles différences entre les données de nos deux séries de mesure. Enfin, des représentations graphiques ont été nécessaires pour une bonne compréhension et une meilleure interprétation de nos résultats.

Grace à cette succession de calcul, étape par étape et pour chaque mois, nous avons pu vérifier nos hypothèses et montrer la moindre différence existant entre nos données, s'elle s'avère significative ou non à un certain pourcentage.

**Mots clés:** «Homogénéité, pression atmosphérique, test paramétrique»

**Summary**

The homogeneity or the existence of a difference between the averages of the two series of data of a same pressure parameter coming from two different devices, one for manual use and the other automatic, Station and at the same altitude requires a detailed study and an adapted comparison to the samples which were the subject of our study. In this perspective, the use of a parametric test seemed to us the most adequate to carry out this study.

Our work was based initially on the processing of the data of the two series of measurements by the calculation of their respective daily averages over a period of three months allowing us the ease of further calculations. We then carried out statistical tests supported by hypotheses showing the comparison of the averages in order to detect whether there is homogeneity or possible differences between the data of our two series of measurements. Finally, graphic representations were necessary for a good understanding and better interpretation of our results.

Thanks to this step-by-step calculation and for each month, we were able to verify our hypotheses and show the slightest difference between our data, whether it is significant or not at a certain percentage.

**Key words:** "Homogeneity, atmospheric pressure, parametric test"

**Directeur de Mémoire:** Monsieur *RAKOTONDRA SOA Ríjaníaina*