



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO**



MENTION METEOROLOGIE

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

Parcours : Sciences et Techniques d'Observations, de Traitement d'Informations

Météorologiques et Hydrologiques

**ETUDE DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES IMPORTANTS
TELQUE LE VENT, LA VISIBILITE ET LA PRESSION POUR
L'AVIATION A L'AERODROME D'IVATO**



Présenté par : Monsieur ANDRIAMAMPIONY Estela Martel

Soutenu le : 10 janvier 2019

Année Universitaire : 2016-2017



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO**



MENTION METEOROLOGIE

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

**Parcours : Sciences et Techniques d'Observations, de Traitement d'Informations
Météorologiques et Hydrologiques**

**ETUDE DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES
IMPORTANTS TELQUE LE VENT, LA VISIBILITE ET
PRESSION POUR L'AVIATION A L' AERODROME D'
IVATO**

Présenté par :

Monsieur ANDRIAMAMPIONY Estela Martel

Soutenu le : **10 janvier 2019**

Devant la Commission d'examen composée par :

Président : Monsieur RAKOTOVAZAHA Olivier

Examineurs : Monsieur RAMANAKOTO Toky Nandrasana
Monsieur RAZAFIELISON Durand Thènes
Monsieur RABENASOLO Mamy Tiana Alain

Directeur de mémoire: Mademoiselle ABRAHAM Michaëlla Nomena

Année Universitaire : **2016-2017**

REMERCIEMENTS

Arrivée au terme de ce mémoire, nous ne saurions nous taire sans louer le Seigneur pour sa bonté, pour nous avoir donné la santé, la force, et pour nous avoir permis d'achever ce mémoire. Je tiens également à adresser mes vifs remerciements aux personnes suivantes, sans qui, ce travail de mémoire n'aurait pas pu être réalisé

- Monsieur **ANDRIANAHARISON Yvon**, Professeur titulaire, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, de m'avoir accueilli au sein de son établissement.
- Monsieur **RAKOTOVAZAHA Olivier**, Enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Maître de conférences, Responsable de la Mention Météorologie à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo de m'avoir laissé suivre les formations au sein du département et qui nous fait l'honneur de présider ce mémoire.
- Monsieur **RAZAFINIMARO Jean William**, Représentant de l'ASECNA auprès de la République de Madagascar de m'avoir permis d'effectuer le stage au sein de l'Agence
- Madame **SOAZANAMASY Harinaivo Mahefa**, Chargée Exploitation de la Météorologie au sein de l'ASECNA ;
- Monsieur **RABENASOLO Mamy Tiana Alain**, Chef Unité d'Observation de l'ASECNA ;
- **Mademoiselle ABRAHAM Michaëlla Nomena**, Ingénieur en Météorologie et Enseignante à l'ENEAM de m'avoir dirigé et donné des conseils avisés durant la conception de ce présent mémoire.

Nos remerciements vont également aux membres du jury, à savoir :

- Monsieur **RAMANAKOTO Toky Nandrasana**, Maître de Conférences et Enseignant Chercheur à la Mention Météorologie ;
- Monsieur **RAZAFIELISON Durand Thènes**, Enseignant à l'ESPA et Ingénieur de Recherche de la Météorologie, Prévisionniste à l'ASECNA ;
- Monsieur **RABENASOLO Mamy Tiana Alain**, Chef Unité d'Observation de l'ASECNA.

Qui ont eu l'amabilité d'examiner cet ouvrage.

Nos reconnaissances s'adressent aussi :

- A tous les enseignants de la Mention Météorologie, qui ont contribué à notre formation, servant de base dans la mise en œuvre d'une telle étude.

Je tiens aussi à remercier ma famille, mes amies et tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire, à tous ceux qui n'ont ménagé ni temps ni précieux conseils ni apports matériels et/ou financiers.

Acceptez ma profonde reconnaissance.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES SYMBOLES ET ACRONYMES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES GRAPHS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION

PARTIE I : GENERALITES

CHAPITRE I : Les principaux acteurs de l'aéronautique à Madagascar

CHAPITRE II : Les outils utilisés durant l'étude

PARTIE II : METHODOLOGIE

CHAPITRE I : données utilisées

CHAPITRE II : Démarches de l'étude

PARTIE III : RESULTATS, COMPARAISONS ET INTERPRETATIONS

CHAPITRE I : Valeur seuil pour chaque paramètre

CHAPITRE II : Influence de chaque paramètre pour le décollage ou l'atterrissage de l'avion

CHAPITRE III : Comparaisons et Interprétations

CONCLUSION

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBGRAPHIES

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS

A : Anticyclone (zone de haute pression)
AC : Aviation Civile
ACI : Aviation Civile Internationale
ACM : Aviation Civile de Madagascar
ASECNA : Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
CAVOK: Ceiling And Visibility OK
D : Dépression (zone de basse pression)
DDD: Direction du vent
E : Est
E.TY: Ecart-TYpe
FF: Vitesse du vent
FL : La mach de pilotage permet de retenir l'altitude fixé
FON: FONction
FRE: FREquence
LDA : Landing Distance Available
MAX: MAXimum
METAR : METeorological Aerodrome Report
MIN: MINimum
MOY: MOYenne
N: Nord
NCD: NO CLOUD DETECTED
NE : Nord-Est
NO : Nord-Ouest
NSC : NO Significant Clouds
O : Ouest
OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale
P: Préhension
QFE : pression réduite au niveau de la piste
QNH : pression réduite au niveau de la mer et
S : Sud
SE : Sud-Est
SO : Sud-Ouest
SPECI : SPECIal Meteorological Aeronautical Report
T.U : Temps Universel.
TOT: TOTaux
V_a : vent arrière
VAR: VARiance
V_a : vent débout
VISI: VISIbilité
VMC: View Météorological Condition
V_t : vent travers

LISTE DES PHOTOS

Photos 1 : Parc météorologique de l'ASECNA IVATO.....	10
Photos 2 : Carnet d'observation	11
Photos 3 : Préparation et suivi de ballon 45g.....	12
Photos 4 : Ballon 45g gonflé	12
Photos 5 : Théodolite optique.....	12
Photos 6 : Ballon 600g gonflé	13
Photos 7 : Image d'un Sounding Processing Subsystem.....	13
Photos 8 : Salle de Veille météorologique d'aérodrome d'Ivato	16
Photos 9 : Ouverture des données dans Sublime Text.....	35
Photos 10 : Alignement des données dans Sublime Text	35
Photos 11 : Affichage des valeurs des paramètres étudiés dans Excel	36
Photos 12 : Obtention des valeurs du vent (ddd et ff) dans Sublime Text	36
Photos 13 : Obtention des valeurs de la visibilité dans le Sublime Text	36
Photos 14 : Obtention des valeurs de la pression dans le Sublime Text.....	37
Photos 15 : Insertion de la pression du mois de juin 2017 dans Excel	37
Photos 16 : exemple de recopie horizontale de la moyenne du janvier 2017	38
Photos 17 : Filtre de maximum de P (1023) en janvier 2017	38

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : FIR où Madagascar se trouve.....	17
Figure 2 : Représentation des trois types de forces du vent	19
Figure 3 : les directions de vent en surface	20
Figure 4 : la pression atmosphérique	21
Figure 5 : Différence de niveau du vent	23
Figure 6 : cisaillement verticale du vent.....	23
Figure 7 : cisaillement horizontale du vent.....	24
Figure 8: Forme symbolique d'un message d'observation aéronautique.....	29

LISTE DES GRAPHES

Graphe 1 : DDD 2008.....	41
Graphe 2 : DDD 2009.....	41
Graphe 3 : DDD 2010.....	42
Graphe 4 : DDD 2011.....	43
Graphe 5 : DDD 2012.....	43
Graphe 6 : DDD 2013	43
Graphe 7 : DDD 2014.....	44
Graphe 8 : DDD 2015.....	44
Graphe 9 : DDD 2016.....	44
Graphe 10 : DDD 2017.....	45
Graphe 11 : FF 2008	48
Graphe 12 : FF 2009	48
Graphe 13 : FF 2010	48
Graphe 14 : FF 2011	48
Graphe 15 : FF 2012	49
Graphe 16 : FF 2013	49
Graphe 17 : FF 2014	49
Graphe 18 : FF 2015	50
Graphe 19 : FF 2016	50
Graphe 20 : FF 2017	50
Graphe 21 : VISI 2008	53
Graphe 22 : VISI 2009	53
Graphe 23 : VISI 2010	54
Graphe 24 : VISI 2011	54
Graphe 25 : VISI 2012	54
Graphe 26 : VISI 2013	55
Graphe 27 : VISI 2014.....	56
Graphe 28 : VISI 2015	56
Graphe 29 : VISI 2016	56
Graphe 30 : VISI 2017	57
Graphe 31 : P 2008	59
Graphe 32 : P 2009	59
Graphe 33 : P 2010	60
Graphe 34 : P 2011	60
Graphe 35 : P 2012	60
Graphe 36 : P 2013	61
Graphe 37 : P 2014	61
Graphe 38 : P 2015	61
Graphe 39 : P 2016	62
Graphe 40 : P 2017	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Différents types d'avions utilisés par Air Madagascar	25
Tableau 2 : Exemple de l'influence du vent au décollage	26
Tableau 3 : Critères concernant le vent de surface	32
Tableau 4 : Critères concernant la Visibilité dominante	32
Tableau 5 : Tableau des indicateurs de la prévision de tendance.....	32
Tableau 6 : vent de surface	33
Tableau 7 : La Visibilité.....	33
Tableau 8 : Portée Visuelle de Piste.....	33
Tableau 9 : Le Temps Présent.....	34
Tableau 10 : La visibilité verticale	34

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Abréviations des mois	II
Annexe 2 : Formules générales des fonctions utilisées dans Excel.....	II
Annexe 3: Chemin de filtrage des MIN (P, VISI) et MAX (DDD).....	II
Annexe 4 : Composants des Tableaux et les codes couleurs de ses fonctions aux interprétations	II
Annexe 5 : Sources des photos, figures, tableaux et graphes	III

GLOSSAIRE

TERMES	LEXIQUES
METAR	Est le nom de code utilisé pour le chiffrement d'observations météorologiques régulières d'aérodromes.
SPECI	est le nom de code utilisé pour le chiffrement d'observations météorologiques spéciales d'aérodromes avec ou sans prévision de tendance
TAF	Est une prévision d'aérodrome, qui contient des renseignements spécifiques
SIGMET	Sont des messages d'avertissement en langage clair pour les aéronefs en vol ou au sol établis par un CVM (Centre de Veille Météorologique)
Aérodrome	Surface définie sur terre ou sur l'eau, destinée à être utilisée, en totalité ou en partie, pour l'arrivée, le départ et les évolutions des aéronefs à la surface.
Aéronef	Tout appareil qui peut se soutenir dans l'atmosphère grâce à des réactions de l'air autres que les réactions de l'air sur la surface de la terre.
Aéronautique	Art de la navigation aérienne.
QFE	Est un code qui signifie « Quelle est la pression atmosphérique au sol ? » selon le code Q. En Météorologie aéronautique, réglage d'un altimètre en prenant comme pression de référence la pression au sol sur l'aérodrome, pour mesurer une hauteur par rapport à un aérodrome.
QNH	Est un code international, qui signifie : « Quelle est la pression atmosphérique (en hPa), convertie au niveau de la mer selon les conditions de l'atmosphère standard ? » selon le code Q dans un METAR. Cette valeur sert au calage altimétrique de l'altitude de vol d'un aéronef. En aéronautique, le QNH est la « pression barométrique corrigée des erreurs instrumentales, de température et de gravité et ramenée au niveau moyen de la mer (MSL ou Mean Sea Level) suivant les caractéristiques de l'atmosphère standard ». En pratique, les QNH étant donnés en référence à un seuil de piste d'aéroport, lorsqu'un altimètre est calé sur le QNH, il affiche l'altitude géographique lorsqu'on se trouve sur le seuil de piste en question.
Calage altimétrique	Pression de référence.

INTRODUCTION

L'aéronautique représente un secteur très important pour le développement national et international. Il est nécessaire de suivre de près les conditions favorables à la navigation aérienne pour s'assurer de la sécurité des navigants et pour satisfaire les exploitants, d'où la responsabilité de l'aviation civile. D'autre service comme l'assistance météorologique à la navigation aérienne est assuré par d'autre établissement, pour Madagascar ainsi que pour plusieurs pays de l'Afrique, cette tâche est assurée par le service météorologique de l'ASECNA. Ceci pour contribuer à la sécurité, à la régularité et à l'efficacité des services fournis.

De ce fait, pour mieux comprendre les influences des paramètres météorologiques sur les phases de vol des avions et pour faciliter ces phases, nous avons voulu faire une « **Etude des paramètres météorologiques importantes pour l'aviation.** » Cette étude a été faite auprès de la station météorologique d'Ivato.

Pour mener à bien ce travail, nous allons voir en première partie, la GENERALITES ; puis, la METHODOLOGIE et enfin, LES RESULTATS, INTERPRETATIONS ET COMPARAISONS.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

Chapitre I : LES PRINCIPAUX ACTEURS DE L'AERONAUTIQUE A MADAGASCAR

L'aéronautique est un secteur très large dans lequel existent plusieurs acteurs du transport aérien comme le MTA, l'ADEMA, l'Air Madagascar mais nous allons plus nous concentrer sur ceux qui se concentrent le plus sur la sécurité météorologique.

I.1 L'Aviation Civile Internationale (ACI) [1]

L'aviation civile désigne tout ce qui est relatif à l'aviation non-militaire. Cela englobe ainsi le transport civil de passagers et de marchandises.

I.1.1 Historique et rôle de l'ACI

A. Historique de l'ACI

En octobre 1945, la Division des Règles de l'air et du contrôle de la circulation aérienne, lors de sa première session, établit un projet de normes, pratiques recommandées et procédures relatives au contrôle de la circulation aérienne. Ce projet fut étudié par le Comité de navigation aérienne et adopté par le Conseil le 25 février 1946. Ces spécifications furent publiées en février 1946 dans la deuxième partie du Doc 2010, sous le titre Recommandations pour les standards, pratiques et méthodes — Contrôle du trafic aérien. Lors de sa 2e session (décembre 1946 – janvier 1947), la division procéda à une révision du Doc 2010 et établit un projet de normes et pratiques recommandées relatives au contrôle de la circulation aérienne. Toutefois, il parut impossible de mettre au point ces dispositions avant que la Division RAC ait posé les principes fondamentaux de l'organisation des services correspondants. Ces principes furent établis par la division lors de sa 3e session (avril-mai 1948) et un projet d'Annexe fut communiqué aux États pour avis. Ce projet fut adopté par le Conseil le 18 mai 1950, en vertu des dispositions de l'article 37 de la Convention relative à l'aviation civile internationale (Chicago, 1944), sous le titre Standards internationaux et pratiques recommandées — Services de la circulation aérienne — Annexe 11 à la Convention. L'Annexe a pris effet le 1er octobre 1950. Le titre Services de la circulation aérienne a été jugé préférable au titre Contrôle de la circulation aérienne car il précise que **le contrôle de la circulation aérienne** n'est que l'un des services de la circulation aérienne visés par l'Annexe 11, qui s'applique également au **service d'information de vol** et au **service d'alerte**.

B. Rôle de l'ACI

L'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) a pour but, d'assurer l'écoulement de la circulation sur les routes aériennes internationales dans des conditions uniformes, afin d'accroître la sécurité et l'efficacité du transport aérien. Et comme ce terme « OACI » désigne une entité administrative chargée d'assurer un service et le terme « AC » correspond à la notion de fonction ou de service assuré, alors, les services de la circulation aérienne auront pour rôle :

- a) d'empêcher les abordages entre aéronefs ;
- b) d'empêcher les collisions entre les aéronefs sur l'aire de manœuvre et les obstacles se trouvant sur cette aire ;
- c) d'accélérer et de régulariser la circulation aérienne ;
- d) de fournir les avis et les renseignements utiles à l'exécution sûre et efficace des vols ;
- e) d'alerter les organismes appropriés lorsque des aéronefs ont besoin de l'aide des organismes de recherches et de sauvetage, et de prêter à ces organismes le concours nécessaire.

I.1.2 Les différents services de l'ACI

Les services de la circulation aérienne comprendront trois services, définis ci-après :

- Service du contrôle de la circulation aérienne
- Service d'information de vol
- Service d'alerte

A. Service du contrôle de la circulation aérienne

Le service du contrôle de la circulation aérienne, correspondant aux fonctions définies en **I.1.1.B**; alinéas **a)**, **b)** et **c)**, ce service étant lui-même subdivisé en trois, de la façon suivante :

- a) le contrôle régional : pour les vols contrôlés sauf pour les parties de ces vols indiquées en **b)** et **c)** correspondant aux fonctions indiquées en **I.1.1.B**, alinéas **a)** et **c)** ;
- b) le contrôle d'approche : pour les parties des vols contrôlés se rattachant à l'arrivée ou au départ, correspondant aux fonctions indiquées en **I.1.1.B**, alinéas **a)** et **c)** ;
- c) le contrôle d'aérodrome : pour la circulation d'aérodrome sauf pour les parties des vols indiquées en **I.1.1.B.c)**, correspondant aux fonctions indiquées en **I.1.1.B**, alinéas **a)**, **b)** et **c)**.

B. Le service d'information de vol

Correspondant aux fonctions indiquées en **I.1.1.B**, alinéa **B.d)**.

C. Le service d'alerte

Correspondant aux fonctions indiquées en **I.1.1.B**, alinéa **B.e**).

I.2 L'Aviation Civile de Madagascar (ACM)

I.2.1 Historique

La Convention relative à l'aviation civile internationale est signée à Chicago le 7 Décembre 1944 à laquelle Madagascar a adhéré le 14 Avril 1962, et ses annexes.

I.2.2 Département et responsabilités [10]

L'organigramme de l'aviation civile de Madagascar présente 12 Directions munis de 24 Départements qui sont :

- ☞ **Direction Générale ;**
- ☞ **Direction de Qualité ;**
- ☞ **Direction auprès de la Direction Générale chargée de la Coordination et du Développement** (Département : Suivi et Contrôle, Gestion, Etudes et Développement) ;
- ☞ **Direction Générale Adjointe (OPERATIONS) ;**
- ☞ **Direction de la Supervision de la Sécurité** (Département : Licences et Formation du Personnel Aéronautique, Opérations Aériennes, Navigabilités des Aéronefs, Aéroports et Aides au sol, Navigation Aérienne) ;
- ☞ **Direction de la Supervision de la Sûreté** (Département : Sûreté des exploitations aéronefs, Sûreté Aéroportuaire) ;
- ☞ **Direction de la Réglementation** (Département : des Opérations, Personnel Aéronautique et Navigabilité ; des Aéroports et Navigation Aérienne, de la Sûreté, Facilitation et Accidents ; Système de Gestion de la Documentation) ;
- ☞ **Secrétariat Général ;**
- ☞ **Direction Administrative et Financière** (Département : Finances et Budget, Logistique) ;
- ☞ **Direction des Ressources Humaines** (Département : Administration du Personnel, Gestion des Ressources Humaines, Formation) ;
- ☞ **Direction des Affaires Juridiques et Economiques** (Département : Droit Aérien, Réglementation et Etudes Economiques, Surveillance et l'Exploitation Economique) ;
- ☞ **Direction Patrimoine Aéroportuaire** (Département : Infrastructure et Développement, Environnement et Foncier ; Contrats de Gestion et Patrimoine Aéronautique).

I.3 L'Assistance météorologique à la navigation aérienne [2]

L'assistance météorologique à la navigation aérienne internationale aura pour objet de contribuer à la sécurité, à la régularité et à l'efficacité de la navigation aérienne internationale.

I.3.1 Historique

Les premières normes et pratiques recommandées se rapportant à la météorologie furent adoptées par le Conseil le 16 avril 1948, conformément aux dispositions de l'article 37 de la Convention relative à l'aviation civile internationale (Chicago, 1944), en tant qu'Annexe 3 à la Convention, sous le titre Standards et pratiques recommandées — Codes météorologiques. Elles avaient été élaborées à partir des recommandations de la session spéciale de la Division de météorologie, tenue en septembre 1947.

I.3.2 Rôle et ses coopérateurs

Son rôle est d'assurer la fourniture, l'utilisation et la gestion de la qualité des renseignements météorologiques pour l'aéronautique.

Par le biais de son administration météorologique ou centre météorologique d'aérodrome, l'assistance météorologique à la navigation aérienne internationale fournit les renseignements météorologiques qui sont nécessaires à l'accomplissement de leurs fonctions respectives aux exploitants, aux membres d'équipage de conduite, aux organismes des services de la circulation aérienne, aux organismes des services de recherche et de sauvetage, à la direction des aéroports et aux autres organismes intéressés à la gestion et au développement de la navigation aérienne internationale.

I.4 L'ASECNA [3]

L'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA) est la plus ancienne institution de coopération et d'intégration africaine et Malagasy.

C'est un établissement public doté de la personnalité morale et jouissant de l'autonomie financière.

I.4.1 Historique, et principes

L'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA), est créé par la Convention de Saint-Louis du 12 décembre 1959, est une organisation multinationale chargée d'assurer la sécurité des services de la navigation aérienne, l'information aéronautique, la météorologie aéronautique, la sécurité incendie, la maintenance des infrastructures de navigation, communication et maintenance. Regroupant 18 Etats membres et son siège est à Dakar.

Dans ses fonctions, il adopte les principes :

- Les principes d'action :
 - Respect des autres
 - Respect de l'environnement
 - Respect de la responsabilité sociétale
- Les principes de comportement :
 - Professionnalisme
 - Intégrité
 - Protection des actifs de l'Agent
 - Activités politiques

L'ASECNA constitue l'un des meilleurs exemples de coopération Nord-Sud et Sud-Sud, et est reconnue comme outil d'intégration et symbole de l'unité Africaine par excellence en matière d'aviation civile. Depuis plus de cinquante ans, elle a toujours démontré sa capacité opérationnelle à assurer sa mission, à trouver des solutions pragmatiques aux problèmes rencontrés, y compris lors des situations très difficiles.

I.4.2 Les Services de l'ASECNA

- L'administration, qui s'occupe de la gestion, la comptabilité et la finance de l'entreprise.
- Les exploitations opérationnelles, qui sont composés en quatre départements différents : la météorologie, la navigation aérienne (contrôleur, Télécommunication...), l'infrastructure radio électrique (RSI : Réseau Système Informatique) et celle du génie civil.

I.4.3 Département Météorologie de l'ASECNA [3]

Pour parvenir au but de l'assistance météorologique à la navigation aérienne internationale, ils ont créé de nombreux organismes et chaque membre déterminera l'assistance météorologique qu'il procurera pour répondre aux besoins de la navigation aérienne. Cette détermination se fera conformément aux dispositions de l'OACI et de l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale), et compte tenu aussi des accords régionaux de navigation aérienne. Pour l'aérodrome d'Ivato, l'ASECNA possède trois. Ce sont :

- L'Unité de Qualification du Personnel ;
- L'Unité Observation ;
- L'Unité Prévision et Protection.

A. L'Unité de Qualification du Personnel

L'Unité de Qualification du Personnel est un pôle d'activités de formation site et d'exploitation météorologique. En général, elle satisfait les besoins des centres météorologiques opérationnels en personnel apte à assurer efficacement leur mission d'assistance Météorologique à la Navigation Aérienne Internationale. Mais plus précisément, elle a pour vocation :

- ❖ Le recueillement des besoins en formation
- ❖ La planification des formations sur site et mise en œuvre de manière effective des programmes ;
- ❖ Le suivi et la supervision de la formation et l'insertion des agents météo nouvellement recrutés ou affectés dans les différentes Unités des Services Météorologiques ;
- ❖ La rédaction des rapports périodiques d'activité de l'Unité Qualification du Personnel
- ❖ L'organisation et mise en œuvre de toute action de formation sur demande ou visant à l'amélioration de la qualité des prestations des services météorologiques
- ❖ La conduite des études dans le domaine de la météorologie opérationnelle en vue de développer des outils techniques d'amélioration des prévisions météorologiques ;
- ❖ La formation, la qualification et l'encadrement des stagiaires.

B. L'Unité Observation [4]

a. Définition de l'observation :

L'observation est l'ensemble d'opération qui consiste à estimer et à mesurer les différents paramètres météorologiques ayant tous très à l'atmosphère.

b. Les différentes observations :

L'unité réseaux assure l'observation synoptique météorologique. Ce dernier fournit les messages SYNOP, TEMP, PILOT ainsi que le Tableau Climatologique Mensuel (TCM), le climat, CR RS, CR PILOT, Carnet d'observation renseigné et enfin le TCA.

L'Unité Observation est constituée de toutes les stations météorologiques d'observation synoptique et elle se charge des fonctions suivantes :

- Observation synoptique en surface ;
- Observation en altitude

b.1 Observation Synoptique en surface : L'observation en surface d'Ivato utilise des instruments classiques qui ont des lectures directes et des enregistreurs, avec 6 km de rayon. Elle s'effectue régulièrement chaque jour et à un intervalle d'une heure.

Le travail se divise en trois parties : le tour d'horizon, lecture des valeurs dans le parc météorologique et celui dans la station d'observation où leur distance est de 60 m.

Le tour d'horizon :

On fait le tour d'horizon à H-10 qui consiste d'estimer la visibilité, les nuages (bas, moyen et haut) et le phénomène.

Dans le Parc Météorologique :

De H-8, on commence la lecture ordonnée des valeurs :

❖ Dans l'abri météorologique, 1,5 m d'hauteur où il y a :

- ☞ Un ensemble psychromètre (thermomètre mouillé et thermomètre sec) ;
- ☞ Un thermomètre à maxima (en mercure) ;
- ☞ Un thermomètre à minima (en alcool) ;
- ☞ Thermographe pour l'enregistrement de la température ;
- ☞ Un hydrographe pour l'enregistrement de l'humidité ;
- ☞ Evaporomètre piche pour la mesure d'évaporation

❖ Thermomètres aux sols :

- ☞ Thermomètre maxima (en mercure),
- ☞ Thermomètre minima (en alcool).

Les positions en-dessous du sol sont : 10 cm ; 20 cm ; 50 cm ; et 100 cm.

La lecture s'effectue à 7 h, 12 h, 17 h. Minima à 4 h et amorce le maxima.

Lecture de maxima à 14 h et amorce le minima.

- ❖ Pluviographe : 400 cm^2 de surface et a auget basculaire ;
- ❖ Pluviomètre : graduation en mm de pluie. On verse l'eau après chaque lecture et s'effectue à chaque heure s'il y a précipitation ;
- ❖ Un héliographe de type Campbell-stokes pour la durée d'insolation. On change par jour le diagramme : on le met avant le lever du soleil et on le tire après la couchée du soleil. L'unité est en heure de rayonnement ;
- ❖ Un anémomètre et une girouette pour la mesure de vitesse et direction du vent.



Photos 1 : Parc météorologique de l'ASECNA IVATO.

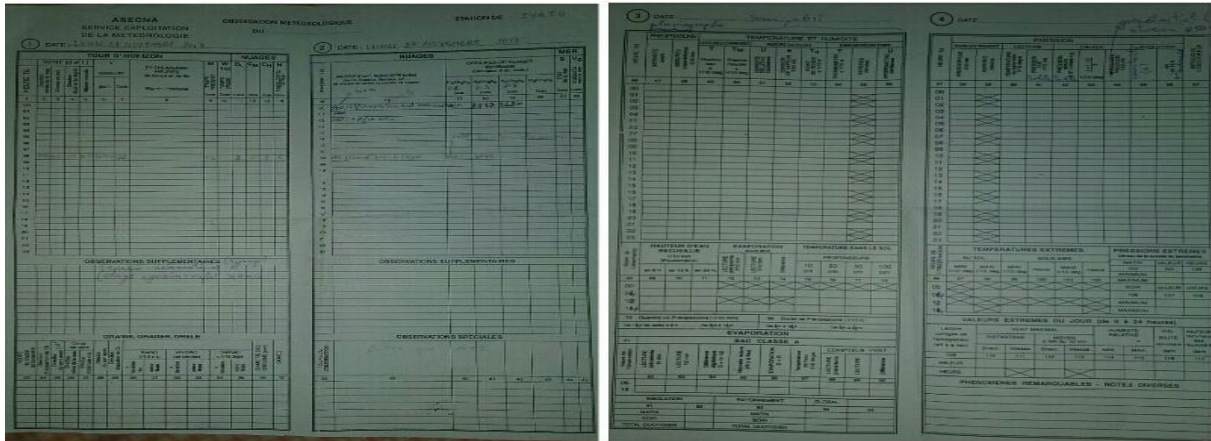
Source : Auteur

La Station d'observation :

Chaque station d'observation a son altitude et il y a de niveau mer (00 m) et de niveau géopotential. L'heure d'observation principale et intermédiaire SYNOPTIQUE sont : 00 h ; 06 h ; 12 h ; 18 h et 03 h ; 09 h ; 15 h ; 21 h. Pour Ivato : niveau géopotential de 1262 m, 18°48 de latitude, 47°49 de longitude, et de code 083 FMMI Ivato internationale. Les paramètres estimés et mesurés dans la station sont : la visibilité, les nuages, le phénomène (RR), le vent et la pression. Donc, on y trouve :

- ☞ Un barographe pour enregistrer la pression ;
- ☞ Un baromètre pour la mesure de pression ;
- ☞ Un anémographe pour enregistrer la vitesse du vent ;
- ☞ Une girouette pour enregistrer la direction du vent ;
- ☞ Un carnet d'observation ;
- ☞ Un ordinateur pour les calculs et l'archivage des données.

Pour l'Ivato, on fait l'observation synoptique pour dresser le tableau climatique et aéronautique (données envoyées toutes les 30 mn au VMA pour former le message METAR et SPECI). Ensuite, on complète le carnet d'observation qui a quatre colonnes différentes par ces valeurs obtenues à chaque observation.



Photos 2 : Carnet d'observation

Source : Auteur

Enfin, on envoie au BCT (Bloc Technique) pour qu'il le diffuse internationalement.

b.2 Observation en altitude :

On effectue deux types d'observations :

- Le PILOT ordinaire
- Le RadioSondage (RS)

b.2.1 Le PILOT ordinaire :

L'observation s'effectue tous les jours à 05 : 00 TU et 23 : 00 T.U (Temps Universel).

On suit un ballon à gaz d'hydrogène, de 45g, taré avec un robinet de 150g, de couleur rouge et vitesse ascensionnelle 200m par minute pour mesurer l'azimut(direction) et l'inclinaison (force) du vent à chaque altitude à l'aide de la théodolite manuelle jusqu'on ne le voit plus. On commence le top par l'altitude du sol qui est de 1262 m \approx 13km. Le top de 1-9 est de tranche de 100m qu'on prend chaque 30 secondes. Celle de ≥ 10 est de tranche de 200 m (par 1mn).

Puis, ces valeurs sont amenées dans l'ordinateur pour faire le calcul automatique avec le logiciel MW41 enfin d'obtenir le vent moyen. Ensuite, on fait le message pilot qui ne transmet que l'Alpha (PPAA) et le Bravo (PPAA) où P=Papa. Enfin, on envoie ces messages au réseau CRT où tout le monde pourra le consulter.



Photos 3 : Préparation et suivi de ballon 45g

Source : Auteur



Photos 4 : Ballon 45g gonflé

Source : Auteur



Photos 5 : Théodolite optique.

Source : Auteur

b.2.2 Le RadioSondage (RS) :

L'heure principale de réseau est : 00 : 00 ; 06 : 00 ; 12 : 00 ; et 18 : 00 T.U.

Celle d'intermédiaire est : 03 : 00 ; 09 : 00 ; 15 : 00 et 21 : 00 T.U.

Tous s'effectuent à 1h30 avant l'heure du réseau.

Pour Ivato, c'est à 00 : 00 et à 12 : 00 TU en lançant un ballon blanc de : type tifac, 600 grammes, gonflé à gaz d'hydrogène 15 minute avant le lancer et accroché à un SPS ou Sounding Processing Subsystem, relié à un appareil qu'on appelle Radiosonde RS41-SG, 6m/s de vitesse ascensionnelle. 11 satellites sont connectés et 11h30mn avant l'heure du réseau. Les éléments au sol exigés par l'ordinateur sont : la pression, la température, l'humidité et la direction du vent. Les paramètres obtenus sont : la direction et la vitesse du vent, la pression, l'humidité, la température et celui au point de rosé à chaque altitude. Puis, on a automatiquement le message TEMP qui est composé de : TTAA (Alpha), TTBB (Bravo), TTCC (Charly), et TTDD (Delta) où T=Tango. Enfin, on trace l'hélogramme pour voir la stabilité et l'instabilité de l'atmosphère, donc la prévision du temps, mais faite par les ingénieurs seulement.



Photos 6 : Ballon 600g gonflé

Source: Auteur



Photos 7 : Image d'un Sounding Processing Subsystem

Source: Auteur

Remarque : La tenue de la documentation et l'archivage des données sont assurées par un logiciel appelé station soft.

C. L'Unité Prévision et Protection :

L'Unité Prévision s'occupe des activités suivantes :

- Prévisions météorologiques ;
- Protections aéronautiques ;
- Veille météorologique d'aérodrome ;
- Veille météorologique de région.

a. En prévision météorologique :

Elle a pour vocation :

- ✚ La conformité de la prévision météorologique aux normes et pratiques recommandées de l'ACM et aux dispositions de l'OMM.
- ✚ La surveillance et le suivi des conditions météorologiques dans sa zone de responsabilité ;
- ✚ L'analyse des cartes de surface, des basses couches et d'altitude ;
- ✚ L'analyse des imageries satellitaires ;
- ✚ L'élaboration des prévisions météorologiques (TAF, TEMSI basse et moyenne altitude, SIGMET) ;
- ✚ L'exploitation des images satellite météorologiques ;
- ✚ L'élaboration et diffusion des directives techniques nationales ;
- ✚ L'analyse des produits de la Prévision Numérique du Temps (PNT)

b. En protection :

Elle contribue à la sécurité, à la régularité et à l'efficacité des vols en fournissant aux exploitants et / ou aux membres d'équipage des renseignements météorologiques nécessaires. Mais elle se charge aussi de :

- ✚ Fournir les renseignements sur le dossier de vol ;
- ✚ La rédaction et la diffusion des avis et messages d'avertissements ;
- ✚ La fourniture des exposés verbaux à l'intention des usagers ;
- ✚ La collecte et l'échange des comptes rendus spéciaux d'aéronef

c. En Veille météorologique d'aérodrome :

La mission d'assistance du veilleur consiste à surveiller en permanence l'aérodrome et ses abords afin de décrire les phénomènes en cours ou l'occurrence prévue à très court terme

de ces mêmes phénomènes. Le veilleur a la responsabilité de veiller à la qualité du service rendu en :

- ✚ Contribuant à assurer la protection des aéronefs à moins d'une heure de vol de l'aérodrome de destination, à l'atterrissage, au roulement, en stationnement ;
- ✚ Contribuant à Assurer la régularité, la rentabilité et l'efficacité des vols ;
- ✚ Rédigeant la partie tendance des messages d'observations.



Photos 8 : Salle de Veille météorologique d'aérodrome d'Ivato

Source : Auteur

d. En Veille météorologique de région :

Elle assure l'assistance météorologique à la navigation aérienne dans les régions d'Information en vol (FIR) en fournissant des renseignements relatifs aux phénomènes météorologiques dangereux en route et des renseignements SIGMET conformément aux normes et pratiques recommandés de l'ACM ainsi qu'aux dispositions de l'OMM.

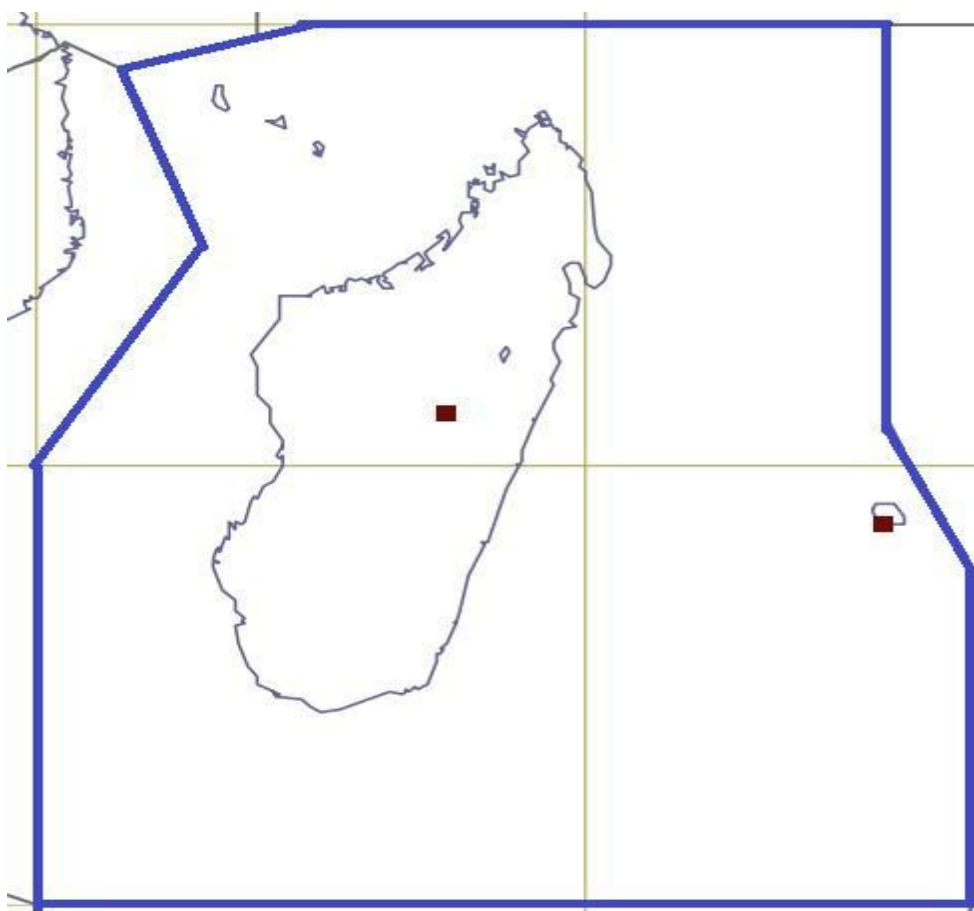


Figure 1 : FIR où Madagascar se trouve

Source : Auteur

I.5 Présentation de Zone d'étude : l'aéroport d'Ivato [11]**I.5.1 Situation géographique**

L'aéroport d'Ivato est situé sur la commune d'Ivato à 20 kilomètres de ville d'Antananarivo, capitale de Madagascar. Il a pour coordonnées : 18° 47'49'' Sud, 47° 28' 44'' et d'altitude 1280 m (4 198ft). Il dispose d'une piste de 3100 m (10 171ft) de long sur 45 m de large, de direction 11/29 et de deux aérogares.

I.5.2 Services responsables existants [12]

L'aéroport d'Ivato est un aéroport à vocation internationale qui dessert 13 destinations par le réseau international et régional et 11 destinations sur le réseau domestique. Il est la base d'opération des compagnies Air Madagascar et Madagasikara Airways et il est utilisé par 11 autres compagnies internationales. Donc les services responsables existants sont : l'ACM qui est le Représentant de l'Etat Malagasy (c'est le haute autoritaire) ; l'ADEMA ou Aéroport DE Madagascar (Gestionnaire de l'aéroport) ; la Police Air Frontière (PAF) ; GTA (gendarme côte ville et côte piste), la douane (vérifie les bagages) ; SAMADA (sécurité et sureté en vérifiant les voyageurs s'ils dangereux comme des terroristes ou non) ; Eau et forêt ; Santé ; Mine ; CIS (police politique qui donne l'autorisation d'aller à l'étranger ou non) ; MGH (traitement au sol, c'est-à-dire il fait l'enregistrement passager, bagage et autres) ; SOFITRANS (occupe l'alimentation dans l'avion) et enfin le RAVINALA AIRPORT qui se charge de la gestion mécanique, électrique, informatique, barrage et parking en dehors.

Chapitre II : LES OUTILS UTILISES DURANT L'ETUDE

Ce présent chapitre présente les paramètres utilisés avec leurs importances, leurs valeurs seuil et les dangers pour l'aviation, les types d'avion utilisés pour l'étude et enfin le but de l'étude.

II.1 Les paramètres utilisés et leurs importances pour l'aviation [5]

Une prévision sur le décollage et l'atterrissage se rapporte à une période de temps déterminé et contient des renseignements sur les conditions prévues sur l'ensemble de piste.

Parmi les différents paramètres météorologiques importants pour l'aviation internationale, plus particulièrement dans l'aérodrome d'Ivato Antananarivo, nous allons voir les influences de :

- Vent (direction et force)
- La pression
- La visibilité

II.1.1 Influence sur le décollage

Une prévision pour le décollage est fournie aux exploitants et aux membres d'équipage de conduite sur demande dans les 3 heures qui précèdent l'heure de départ prévue.

Les centres météorologiques d'aérodrome qui établissent des prévisions pour le décollage tiennent les prévisions constamment à jour et, le cas échéant, diffusent rapidement les changements significatifs en message aéronautique.

Il est à préciser que la prévision de décollage est un élément constitutif du dossier de vol.

A. Le vent

Le vent est un paramètre important pour le vol des aéronefs conditionnant sa possibilité de vol ou non. En parlant de décollage et d'atterrissage, nous allons plus parler du mouvement horizontal de l'air au sol, c'est-à-dire le vent en surface.

a. Définition et origine :

Le vent est un déplacement d'air horizontal dû à des différences de pression entre les points de la surface de la terre. Le vent résulte de l'action de trois types de forces sur l'air en mouvement :

- La force de gradient de pression
- La force de CORIOLIS
- Les forces de frottements

a.1. La force de gradient de pression :

Elle est due à la différence de pression entre les points de la surface de la terre. Elle entraîne l'air des hautes vers les basses pressions. Plus les différences de pression sont importantes et plus cette force est importante.

En pratique lorsque l'on observe les isobares d'une carte météo, plus elles sont rapprochées et plus le vent est fort.

a.2. La force de CORIOLIS :

Tout objet en mouvement dans l'hémisphère nord est dévié vers sa droite. (C'est le contraire dans l'hémisphère sud).

Les particules d'air n'y font pas exception. Lors de son déplacement des hautes vers les basses pressions, l'air est dévié vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud.

a.3. Les forces de frottements :

Lors de son mouvement, l'air frotte contre les autres particules d'air et le sol. Cela entraîne des forces s'opposant à son mouvement. Elles ne le deviennent pas mais le freinent.

Remarque :

Le vent se stabilise dans une direction tangente aux isobares. En réalité, il les coupe légèrement vers l'intérieur dans les dépressions et vers l'extérieur dans les anticyclones.

Dans l'hémisphère nord il tourne dans le sens horaire (sens des aiguilles d'une montre) autour des anticyclones et dans le sens contraire autour des dépressions.

Dans l'hémisphère sud c'est le contraire.

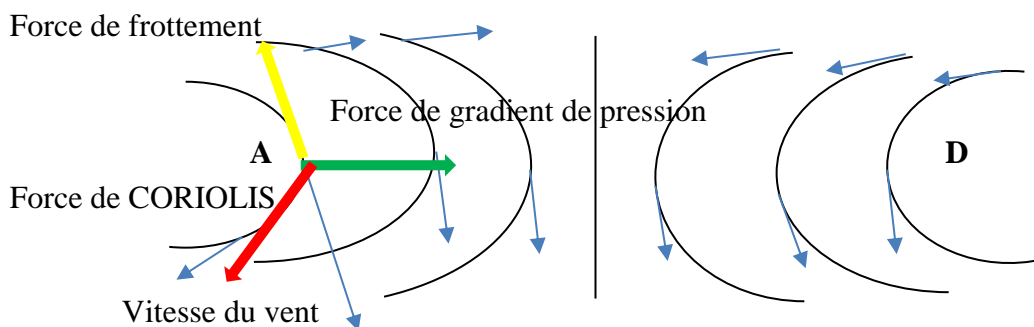


Figure 2 : Représentation des trois types de forces du vent

Source : [5]

Avec : **A** : Anticyclone (zone de haute pression), **D** : Dépression (zone de basse pression)

b. L'importance de la direction du vent :

Tout avion décolle et atterrit toujours en contrant la direction du vent. La valeur de DDD égale à 360° C correspond à un vent soufflant du Nord vrai. Le choix de la piste est en

fonction de la connaissance de la direction du vent. L'aérodrome d'Ivato a deux pistes : **la piste 11** et **la piste 29**. Alors, quand le **vent du Sud-Est** domine, c'est la piste 11 qui est fonctionnelle mais quand le **vent du Nord-Ouest** domine, alors c'est **la piste 29**. La DDD signifie d'où souffle le vent en se référant au rose des vents : Est ($E = 0^\circ$), Nord ($N = 90^\circ$), Ouest ($O = 180^\circ$), Sud ($S = 270^\circ$), N-E (45°), N-O (135°), S-O (225°) et S-E (315°), E-N-E (23°), N-N-E (68°), N-N-O (113°), O-N-O (158°), O-S-O (203°), S-S-O (247°), S-S-E (293°) et E-S-E (337°) qui ont pour valeurs de 0° à 360° C, gradué de 10° et moyennée plus ou moins de 10° C. Par exemple : la DDD du vent des valeurs comprises entre 125 et 145 est N-O avec $135 - 10 = 125$ et $135 + 10 = 145$.

Le vent debout est considéré comme favorable dans la mesure où il diminue la distance associée au décollage. Tandis que **le vent arrière** constitue une limite au décollage pour une vitesse de valeur supérieure à 10 Kt.

Le vent de travers constitue une limite au décollage pour des valeurs de 5 à 30 Kt en fonction de l'état de la piste et du type d'avion. Par exemple, l'état de piste mouillé est facile à glisser et le type d'avion peut être grand ou petit.

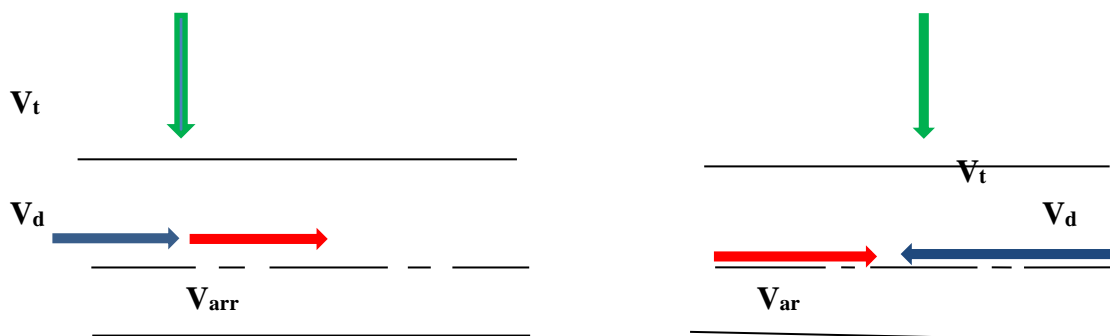


Figure 3 : les directions de vent en surface

Source : [5]

V_a : vent arrière ; V_d : vent debout ; V_t : vent travers

c. L'importance de la vitesse du vent sur la longueur de la piste :

Plus la vitesse du vent augmente, plus la longueur du décollage diminue. Par conséquent, le décollage est facile et la consommation de carburant diminue, c'est avantageux pour la société utilisant le Boeing B747.

B. L'importance de la pression atmosphérique

La pression atmosphérique résulte des chocs des molécules d'air entre elles et avec les objets dans l'atmosphère. Elle est aussi le rapport de la force d'une masse d'air avec une surface quelconque. La pression fait partie des paramètres de décollage puisque si elle diminue, la

distance de décollage augmentera, la masse maximale et la pente de la trajectoire diminueront. En outre, la pression et la température ont une influence très importante sur la poussée ou la puissance, puisqu'elles interviennent dans la masse volumique de l'air. Par suite, l'efficacité d'un décollage et même d'un atterrissage (distance d'envol ou d'arrêt) dépend de la masse volumique de l'air, de la précision des pressions QNH (pression réduite au niveau de la mer) et QFE (pression réduite au niveau de la piste) calculées. Elle est aussi utile pour le calage altimétrique (mesure des niveaux ou distances verticales de différence de pression).

II.1.2 Influence sur l'atterrissage

A. Le vent

Le vent débout entraîne une diminution de distance d'atterrissage et inversement avec un vent arrière. Le vent de travers constitue une limitation à l'atterrissage pour une valeur de 5 à 30 Kt en fonction de l'état de piste.

Remarque : L'état de la piste : si la piste est mouillée, la distance d'atterrissage est en général majorée de 15%

B. La pression

La pression présente deux utilités pour l'atterrissage :

- Elle est nécessaire pour connaître la hauteur de l'avion au niveau de l'aérodrome ou l'altitude de l'avion en fonction du temps ;
- Si la pression diminue, la distance d'atterrissage augmente (LDA : landing Distance Available)

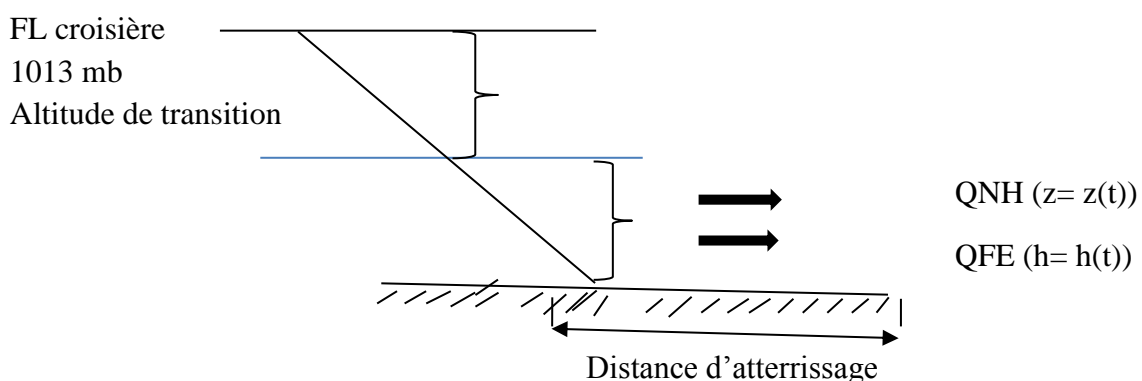


Figure 4 : la pression atmosphérique

Source : [5]

NB : Une erreur de 1 mb \equiv 10 m de hauteur avec une tolérance de 0,2 mb \equiv 2 m

C. La visibilité

Définition :

La visibilité pour l'exploitation aéronautique correspond à la plus grande des deux valeurs suivantes :

- a)** la plus grande distance à laquelle on peut voir et reconnaître un objet noir de dimensions appropriées situé près du sol lorsqu'il est observé sur un fond lumineux ;
- b)** la plus grande distance à laquelle on peut voir et identifier des feux d'une intensité voisine de 1 000 candelas lorsqu'ils sont observés sur un fond non éclairé.

Les deux distances sont différentes pour un coefficient d'atténuation donné de l'atmosphère, et la distance **b)** varie selon la luminance du fond.

La distance **a)** est représentée par la portée optique météorologique (POM).

La Visibilité dominante :

C'est la valeur de la visibilité la plus grande, observée conformément à la définition de « visibilité », qui est atteinte dans au moins la moitié du cercle d'horizon ou au moins la moitié de la surface de l'aérodrome. Ces zones peuvent comprendre des secteurs contigus ou non contigus. Cette valeur peut être évaluée par un observateur humain et/ou par des systèmes d'instruments. Lorsqu'ils sont installés, les systèmes d'instruments sont utilisés pour obtenir la meilleure estimation de la visibilité dominante. En aéronautique, il y a : VIS (en météorologie), PVP =RVR (Porté Visuelle de Piste ou Runway Visual Range).

Le minima opérationnel pour chaque aérodrome est le seuil d'atterrissage pour un avion sur une piste. Elle est mesurée par l'appareil appelé transmissomètre :

- Si on traverse 2 balises, alors la visibilité est $2 \times 60 = 120$ m
- Si on traverse 6 balises, alors la visibilité est $6 \times 60 = 360$ m
- Mais dans cet ouvrage, c'est le VIS dominante qu'on traitera.

Pour le décollage et l'atterrissage, la visibilité est bonne pour une valeur supérieure à 5000m et elle est mauvaise si inférieure à 5000m (difficile d'assurer la sécurité).

II.2 Les dangers pour le décollage ou l'atterrissage de l'avion

D'après les statistiques, 10.8% des cas d'accident au niveau du transport public mondial de 1959-1994 étaient dus à la météo avec 36% des cas lors de l'atterrissage et 18% au décollage.

II.2.1. Le cisaillement de vent [5], [8]

A. Définition

Le cisaillement du vent, est la variation ou le changement brusque de la direction et/ou de la Force (vitesse) du vent dans l'espace (généralement du sol jusqu'à 500 m).

Le cisaillement est significatif pour une valeur supérieure à 4kt/100ft :

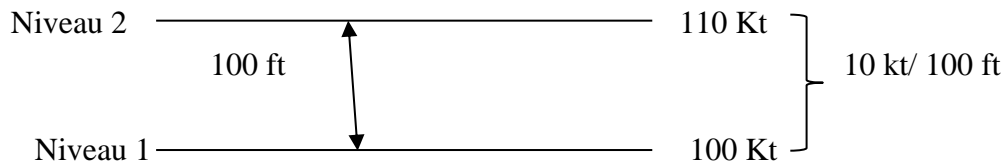


Figure 5 : Différence de niveau du vent

Source : [5], [8]

Le cisaillement du vent peut causer une modification brutale de la trajectoire de l'avion et constitue un risque de collision avec le sol pour une hauteur inférieure à 1500 ft.

L'OACI préconise une classification de cisaillement du vent pour un seuil de 30m (100ft) suivant le vertical : Leger : $< 4 \text{ Kt}/100 \text{ ft}$; Modéré : $5 \text{ à } 8 \text{ Kt}/100 \text{ ft}$; Fort : $9 \text{ à } 12 \text{ Kt}/100 \text{ ft}$; Très fort : $> 12 \text{ Kt}/100 \text{ ft}$.

B. Les différents types de cisaillements

Il y a 2 types de cisaillements :

- Vertical : si les variations du vent (horizontal ou vertical) se font dans un plan vertical
- Horizontal : si les variations du vent (horizontal ou vertical) se font dans un plan horizontal

a. CISAILLEMENT VERTICAL DU VENT :

Le cisaillement vertical affectera un avion dont la trajectoire est verticale, c'est à dire en montée ou en la descente.

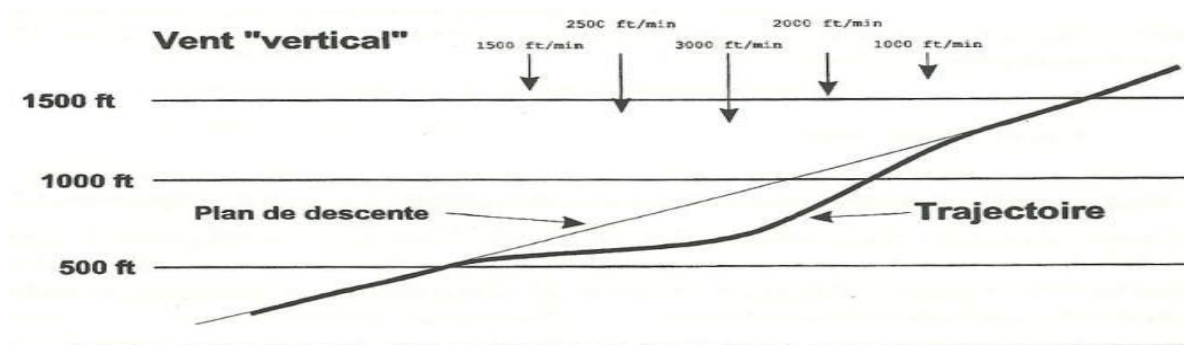


Figure 6 : cisaillement verticale du vent

Source : [5], [8]

b. CISAILLEMENT HORIZONTAL DU VENT

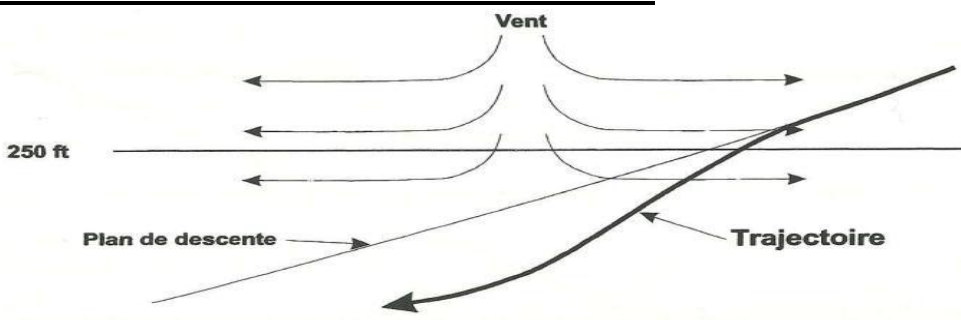


Figure 7 : cisaillement horizontale du vent

Source : [5], [8]

C. Les origines du cisaillement**a. Origines dynamique du cisaillement :**

Le cisaillement d'origine dynamique provient de la désorganisation de la distribution régulière des vents d'une masse d'air :

- ☞ Soit à proximité d'une perturbation où des courants jets (de haute ou de basse altitude) se forment et accentuent très localement les gradients de vent ;
- ☞ Soit près de reliefs, qui peuvent isoler une masse d'air calme qui entre en interface avec le vent synoptique.

b. Origines radiative du cisaillement :

En l'absence de rayonnement solaire, la surface terrestre se refroidit très rapidement, et refroidit la fine couche d'air en contact. Cette pellicule d'air froid s'isole du reste de la masse d'air et se stabilise. En plaine, le vent va faiblir dans la couche d'air froid, mais si le vent synoptique au-dessus est assez fort, il y aura cisaillement. En montagne, cet air refroidit sur les pentes va créer une brise descendante qui peut entrer en conflit avec le vent synoptique.

c. Origines convective du cisaillement :

La première manifestation de ces phénomènes est la brise montante, très similaire à la brise descendante. Le soleil réchauffe un pan de relief, qui va réchauffer l'air environnant. Cet air chaud s'élève et « aspire » l'air plus froid en vallée. A l'interface entre le vent synoptique et cette brise, du cisaillement peut apparaître. Ces mouvements convectifs très locaux sont donc à l'origine du changement des vents brutaux. Cela peut se manifester sous plusieurs formes, tout d'abord les « thermiques » utilisés par les planeurs, et lorsque le nuage grossit cela peut créer d'importants courants verticaux engendrant du cisaillement de vent. En résumé, les causes du cisaillement de vent pour l'aéronautique sont : l'écoulement au voisinage de relief, la proximité de Cb, Le passage de la frange frontale, la turbulence de sillage.

II.2.2. La trouble à la visibilité :

La présence d'hydrométéore ou de lithométéore en nombre suffisant dans l'atmosphère pour atténuer la transparence de l'atmosphère est la cause de troubles de la visibilité, comme : brouillard, précipitation, foudre (visibilité du pilote).

Les dangers de faible visibilité à l'aéronautique [5], [9]

En conséquence, le brouillard est un phénomène météorologique très dangereux pour l'aéronautique. La réduction de visibilité qu'il entraîne empêche tout vol à vue. Il est impossible pour un pilote d'assurer la sécurité dans le brouillard. Le sol n'est pas toujours visible et les obstacles de grandes dimensions verticales ne sont aperçus que trop tard pour être évités. Si le brouillard est très dense, il est possible que les vols aux instruments ne soient pas non plus possibles. En effet, il faut une visibilité minimale au pilote pour pouvoir décoller. A l'atterrissage, il faut pouvoir apercevoir la piste (ou au moins son balisage) pour poser correctement l'avion. De plus si le brouillard est givrant, les risques augmentent à cause des givres.

II.2.3. La pression

Les problèmes liés à la pression sont :

- La difficulté et la perte causée par l'importance consommation de carburant, par le fait qu'on doit augmenter la distance de décollage ou l'atterrissage ; ou de diminuer la masse maximale de l'avion ;
- L'insécurité totale de décollage, du vol et de l'atterrissage si on ne respecte pas les conditions liées à la pression.

II.3 Types d'avion utilisés pour l'étude

Comme Air Madagascar est l'une des compagnies opérant dans l'aéroport internationale d'Ivato, il utilise plusieurs avions en fonction de besoin du client et du trajet de vol à effectuer. Voyons leurs caractéristiques sur ces tableaux :

Tableau 1 : Différents types d'avions utilisés par Air Madagascar

Source : [5]

Caractéristiques	Différents types d'avions			
	Airbus A340-300	ATR72-500	BOING 737-800	TWIN OTTER
Vitesse moyenne de croisière (km/h)	888	480	800	270
Rayon d'action en plain passagers (km)	13 350	3148	5300	750
Charge maximale (kg)	43 500	7100	19000	19000
Réseaux	Long courrier	Régional et domestique	Régional et domestique	Domestique

Tableau 2 : Exemple de l'influence du vent au décollage

Source : [5]

m est la masse maximale de l'avion au lancé du frein exprimée en tonne et avec un vent nul.

Vent	Air Bus A340-300	Boeing B747	ATR72
10kt arrière	m-11	m-6	m-2
05kt arrière	m-6	m-3	m-1
10kt débout	m+3	m+2
20kt débout	m+7	m+4	m+0,5

On va prendre le **BOING B747** pour cette étude. Il est quadriréacteur de deux moteurs de même côté et de la pressurisation. Ce type d'avion s'occupe du transport aérien entre Madagascar et les îles voisines voire Comores, Seychelles et autre pays comme l'Afrique du Sud et aussi des vols nationaux. Cet avion a une charge maximale très importante par rapport à l'ATR72-500 qui effectue le même réseau régional et domestique, avec 8 places en classe affaires et 156 en classe économique. Il est fréquemment utilisé à l'aéroport d'Ivato, donc c'est préférable de faire l'étude de sécurité du vol. On verra l'impact et la variabilité des paramètres étudiés au fil des mois et des années à ce dernier. C'est ainsi la raison de ce choix. Remarquons ici que plus la force du vent en arrière augmente, plus la charge maximale diminue, et la charge maximale augmente avec l'augmentation de la force du vent de débout.

II.4 But de l'étude

L'assistance météorologique à la navigation aérienne a pour objet de contribuer à la sécurité, la régularité et l'efficacité de la navigation aérienne.

- **La sécurité** : éviter les dangers présentés par les paramètres météorologiques qui sont : le cisaillement de vent, la trouble à la visibilité et la pression.
- **La régularité** : programme de vol bien planifié ;
- **L'efficacité** : on parle ici de la consommation des aéronefs.

Pour atteindre ces objectifs, il faut fournir aux exploitants ou compagnies aériennes ou aux membres de l'équipage (pilotes), aux organismes de la circulation aérienne (contrôleurs), aux organismes de recherches et de sauvetages et à la direction des aéroports (ADEMA pour Madagascar) les renseignements météorologiques qui sont nécessaires à l'accomplissement de leurs fonctions respectives, en particulier dans ce mémoire : le vent, la pression et la visibilité. Des explications claires sur l'importance de ces trois paramètres sur le décollage et atterrissage d'avion de type Boeing747 et l'estimation d'évolution mensuelle et annuelle de ces dix dernières années.

DEUXIEME PARTIE : METHODOLOGIE

Chapitre I : DONNEES UTILISEES

Il nous est nécessaire de connaître les différents types de messages aéronautiques et de les déchiffrer afin de mieux comprendre les impacts des paramètres météorologiques sur le décollage et l'atterrissage des avions.

I.1 Les Données METAR [6]

METAR et SPECI sont les noms des messages codés utilisés respectivement pour le chiffrement d'observations météorologiques régulières et spéciales (irrégulières) pour l'aviation. Une prévision de tendance est jointe à un message METAR ou à un message SPECI.

Selon l'OMM N°49 vol 1, les stations météorologiques aéronautiques effectuent des observations régulières à intervalles fixes. Ces observations régulières sont diffusées tous les jours 24 sur 24 heures avec une heure comme intervalle, s'il en est ainsi décidé par voie d'accord régional de navigation aérienne, à des intervalles d'une demi-heure. Mais pour les compléter, des observations spéciales sont possible chaque fois que se manifestent des changements spécifiques en ce qui concerne le vent de surface, la visibilité, la portée visuelle de piste, le temps présent, les nuages et/ou la température de l'air.

Contenu du message :

Malgré leur différence, les METAR et les SPECI sont pareils au niveau de leur contenu :

- a) Identification du type de message d'observation ;
- b) Indicateur d'emplacement ;
- c) Heure de l'observation ;
- d) Identification d'un message d'observation automatisé ou manquant, s'il y a lieu ;
- e) Direction et vitesse du vent de surface ;
- f) Visibilité ;
- g) Portée visuelle de piste, s'il y a lieu ;
- h) Temps présent ;
- i) Nébulosité, type de nuages (uniquement pour les cumulonimbus et cumulus bourgeonnants) et hauteur de la base des nuages ou, lorsqu'elle est mesurée, visibilité verticale ;
- j) Température de l'air et température du point de rosée ;
- k) QNH et, s'il y a lieu, QFE (le QFE n'est indiqué que dans les messages d'observations régulières et spéciales locales).

Dans ce chapitre, le but est d'avoir quelques notions sur les Messages d'observation météorologique aéronautique régulière et spéciale.

I.2 Forme symbolique [6]

Les messages d'observations régulières et irrégulières seront établis en langage clair abrégé, de façon conforme au format suivant :

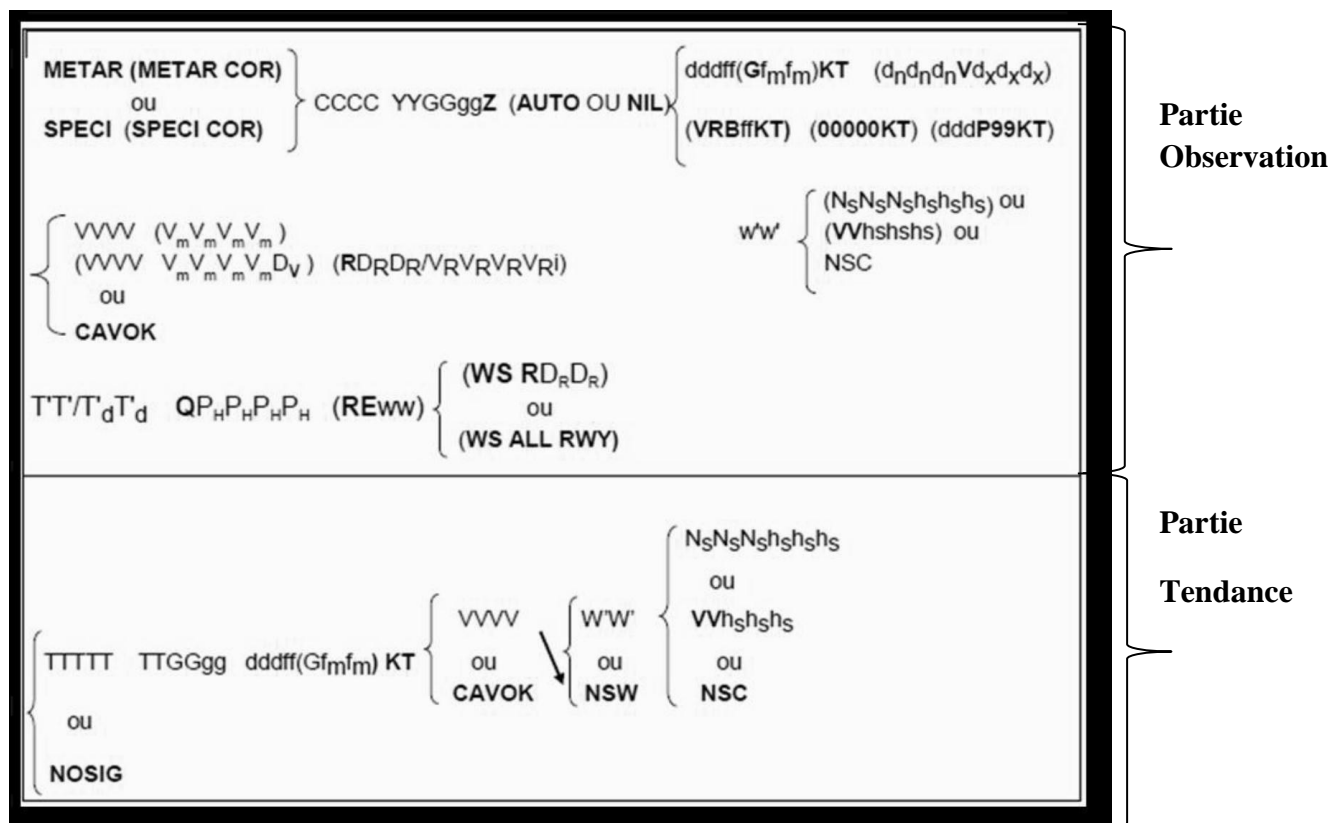


Figure 8: Forme symbolique d'un message d'observation aéronautique

Source : [6]

Exemple de message : 18/06/2017 11 :30 181130Z VRB14KT 9999 SCT020 22/12 Q1021

NO=

I.2.1 Règle de la partie observation du message

A. Généralités :

Le nom de code **METAR** ou **SPECI** est inclus au début d'un message individuel, suivi de l'indicateur de position de la station d'observation et de l'heure de l'observation. Dans le cas d'un bulletin météorologique qui peut consister en un ou plusieurs messages **METAR**, le nom de code **METAR**, suivi du jour du mois et de l'heure officielle d'observation en heures UTC, suivis sans espace de l'indicateur littéral **Z**, est inclus dans la première ligne du texte du bulletin.

Les **METAR** et **SPECI** corrigés sont notés respectivement **METAR COR** et **SPECI COR**

Lorsque l'aggravation d'un élément météorologique s'accompagne de l'amélioration d'un autre élément (par exemple abaissement de la couche nuageuse et amélioration de la visibilité), un seul message SPECI est émis, il sera alors traité comme un message d'aggravation.

B. Les différentes parties du message

a. Indicateur d'emplacement OACI : CCCC

b. Date : YYGGggZ

c. Observations entièrement Automatiques : AUTO

d. Direction et vitesse du Vent :

- **ddd** : Direction vraie d'où souffle le vent moyennée sur les 10 minutes précédant l'heure de l'observation ;
- **FF** : Vitesse du vent en nœuds, moyennée sur les 10 minutes précédant l'heure de l'observation
- **KT** : indicateur littéral de l'unité de mesure de la vitesse du vent ;
- **VRB** : Lorsque la variation totale de la direction du vent est égale ou supérieure à 60° et inférieure à 180° et que la vitesse moyenne est inférieure à 3 KT, ddd est chiffré **VRB**. Lorsque la variation totale de la direction du vent dépasse 180°, ddd est chiffré **VRB** quelle que soit la vitesse.

e. Visibilité :

VVVV : visibilité dominante ; **V_mV_mV_mV_m** : visibilité minimale ; **CAVOK** (Ceiling And Visibility **OK**). Son unité est mètre.

f. Portée Visuelle de piste (RVR) : RD_RDR/V_RV_RV_RV_Ri OU (RD_RDR/V_RV_RV_RV_RV_V_RV_RV_Ri) :

- **R (Runway)** : indicateur littéral du groupe des renseignements sur la RVR.
- **DRDR** : numéro en rose de 36 d'identification de la piste d'atterrissage à laquelle se rapportent les renseignements sur la portée visuelle de piste.
- **V_RV_RV_RV_R** : Valeur moyenne

V_RV_RV_RV_RV_V_RV_RV_Ri : Si la PVP sont observées pendant 1mn au cours de la période de 10mn.

- **i** : Valeur de la tendance de la portée visuelle de piste

g. Temps présent (ou prévu) : W'W'

h. Groupe des Nuages : N_sN_sN_sh_sh_sh_s

- **N_sN_sN_s** : Nébulosité aéronautique de la couverture nuageuse en considération.
- **h_sh_sh_s** : Hauteur de la base de la couche ou masse nuageuse de nébulosité N_sN_sN_s.

i. La Température de l'air et celui du point de rosée : T'T'/T'_aT'_a

- **TT** : la température sur l'aérodrome (°C)
- **/** : indicateur fixe
- **T'_aT'_a** : température de point de rosée (°C)

j. Groupe de la pression : QPHPHPHPH

- **Q** : Indicateur littéral du groupe du QNH.
- La pression **PHPHPHPH** est calculée en dixième d'hectopascal et exprimée dans le message en hectopascal (hPa) au moyen d'un nombre de quatre chiffres arrondis par défaut à l'hectopascal entier.
- La valeur de pression donnée dans le METAR est la valeur QNH (pression atmosphérique du terrain ramenée au niveau de la mer).

k. Renseignements Supplémentaires : (REw'w'), (WS RDRDR), (WT_sT_s/SS), (RRRRERCRERBRBR)

- Le temps récent (**REw'w'**), le cisaillement de vent (**WS RDRDR**), la température de surface de la mer et l'état de la mer (**WT_sT_s/SS**), et l'état de la piste (**RRRRERCRERBRBR**), les **DRDR** : Numéro de piste (voir RVR).

I.2.2 La prévision de tendance

- **TTTTT** désigne l'indicateur d'évolution de la **TENDANCE : BECMG, TEMPO, FM, TL, AT**.
- Si aucun changement significatif n'est prévu au cours de la période de deux heures à venir, **TTTTT = NOSIG**.
- **TTGGgg** désigne le groupe d'indicateur horaire.

a. Critères d'Emission de la Prévision de Tendance

La prévision de tendance indique les changements significatifs prévus concernant le vent de surface, la visibilité dominante, les phénomènes météorologiques, les nuages et la visibilité verticale.

b. Critères pour le vent de surface

Tableau 3 : Critères concernant le vent de surface

Source : [6]

Composantes du Vent	Critères de Changements significatifs
Direction (ddd)	la direction moyenne changera de 60° au moins, la vitesse moyenne du vent avant et/ou après le changement étant supérieur ou égale à 10 KT.
Vitesse (ff)	la vitesse moyenne du vent de surface changera d'au moins de 10 KT
ddd et ff	les variations de ddd et ff passeront par des valeurs opérationnelles en tenant compte des changements qui: <ul style="list-style-type: none"> Nécessiteraient de changer la ou les pistes en service Indiqueraient que les composantes du vent arrière et de vent traversier sur la piste passera par des valeurs correspondant aux limites principales des aéronefs qui utilisent l'aérodrome.

c. Critères pour la visibilité dominante :

Tableau 4 : Critères concernant la Visibilité dominante

Source : [6]

La Visibilité dominante s'améliorera et atteindra ou franchira les valeurs ci-après :	La Visibilité dominante se détériorera et franchira les valeurs ci-après :
150 m	5 000 m
350 m	3 000 m
600 m	1 500 m
800 m	800 m
1 500 m	600 m
3 000 m	350 m
5 000 m	150 m

Tableau 5 : Tableau des indicateurs de la prévision de tendance

Source : [6]

Indicateur horaire	Indicateur d'évolution		
FM : "from", indicateur de début de changement prévu. AT : "at", indicateur de l'heure à laquelle une (des) condition(s) prévue(s) est (sont) attendue(s). TL : "until", indicateur de fin de changement prévu	TEMPO : indicateur des fluctuations temporaires d'un ou plusieurs paramètres, durant moins d'une heure et couvrant moins de la moitié de la période ; utilisé seul lorsque le début et la fin de la période de fluctuations temporaires correspondent au début et à la fin de validité de la tendance.	BECMG (Becoming) : indicateur d'évolution régulière ou irrégulière des conditions météo ; est utilisé seul lorsque l'évolution débute ou se termine aux heures de début et de fin de la tendance ou se produit à une heure incertaine durant la validité de la tendance.	NOSIG : pas de changement significatif prévu dans les 2 heures suivant l'heure d'observation.

I.3 Critères d'établissement du "SPECI"

Etablir des messages SPECI comme un message d'aggravation chaque fois qu'il se produit des changements significatifs en aggravation ou en amélioration des paramètres ci-après : le vent (Tableau 5) ; la visibilité (Tableau 6) ; la portée visuelle de piste (Tableau 7) ; le temps présent (Tableau 8) ; les nuages (Tableau 10) ; la visibilité verticale (Tableau 11).

Tableau 6 : vent de surface

Source : [6]

Composantes du Vent	Critères de Changements significatifs
Direction (ddd)	Si la direction moyenne a changé au moins de 60° par rapport à celle du dernier message d'observation, la vitesse moyenne du vent avant et/ou après le changement étant supérieure ou égale à 10KT.
Vitesse (ff)	Si la vitesse moyenne du vent de surface a changé au moins de 10KT par rapport à celle du dernier message d'observation.
	Si la variation fmfm – ff a augmenté d'au moins 10KT par rapport à celle du dernier message d'observation, la vitesse moyenne avant et/ou après le changement étant supérieur ou égale à 15KT
ddd/ff	Si le vent change en passant par des valeurs d'importance opérationnelle en tenant compte des variations qui nécessiteraient un changement de la ou des pistes en service, ou qui indiqueraient que les composantes de vent arrière et de vent traversier sur la piste sont passés à des limites d'exploitation des aéronefs.

Tableau 7 : La Visibilité

Source : [6]

Lorsque la Visibilité dominante s'améliore et atteint ou franchit les valeurs ci-après :	Lorsque la Visibilité dominante se détériore et franchit les valeurs ci-après :
800 m	5 000 m
1 500 m	3 000 m
3 000 m	1 500 m
5 000 m	800 m

Tableau 8 : Portée Visuelle de Piste

Source : [6]

Lorsque la portée visuelle de piste s'améliore et atteint ou franchit les valeurs ci-après :	Lorsque la portée visuelle de piste se détériore et franchit les valeurs ci-après :
50m	800 m
175m	550m
300m	300m
550m	175m
800 m	50m

Tableau 9 : *Le Temps Présent.*

Source : [6]

Inclure une tendance s'il est prévu une apparition, une cessation ou une variation d'intensité de l'un ou d'au plus trois des phénomènes météorologiques suivants ou une combinaison de ces phénomènes :
1. Précipitations se congelant;
2. Précipitation modérée ou forte (averses comprises) ;
3. Orage (avec précipitations);
4. Tempête de poussière ;
5. Tempête de sable ;
6. Trombe (trombe terrestre ou trombe marine)
Inclure une tendance s'il est prévu une apparition ou une cessation de l'un ou d'au plus trois des phénomènes météorologiques suivants ou une combinaison de ces phénomènes:
7. Brouillard givrant (sans intensité);
8. Chasse – poussière basse, chasse - sable basse ou chasse-neige basse ;
9. Chasse – poussière élevée, chasse - sable élevée ou chasse-neige élevée ;
10. Orage (sans précipitations);
11. Grain
Autres phénomènes météorologiques indiqués à la table de code de W'W' seulement s'il est prévu qu'ils causeront une variation significative de la visibilité.

Tableau 10 : *La visibilité verticale*

Source : [6]

En amélioration si la Visibilité Verticale s'améliore et atteint ou franchit les seuils suivants	En aggravation si la Visibilité Verticale se détériore et franchit les seuils suivants
30 m	300 m
60 m	150 m
150 m	60 m
300 m	30 m

Chapitre II : DEMARCHES DE L'ETUDE

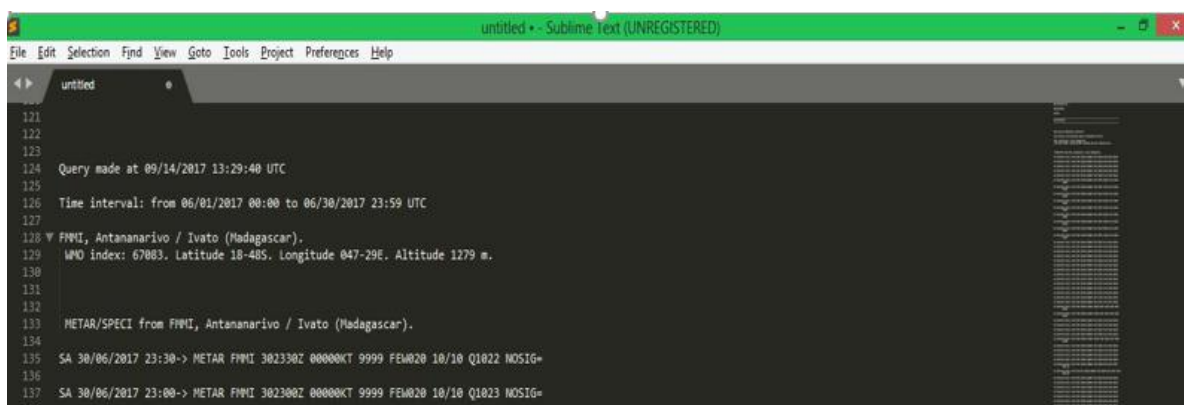
II.1 Logiciels utilisés

Les deux logiciels utilisés pour faire l'extraction du vent (ddd, ff), visibilité et pression ; les calculs mathématiques et les représentations des abaques annuelles de ces paramètres sont : le Sublime text et L'Excel.

II.2 Traitement des données

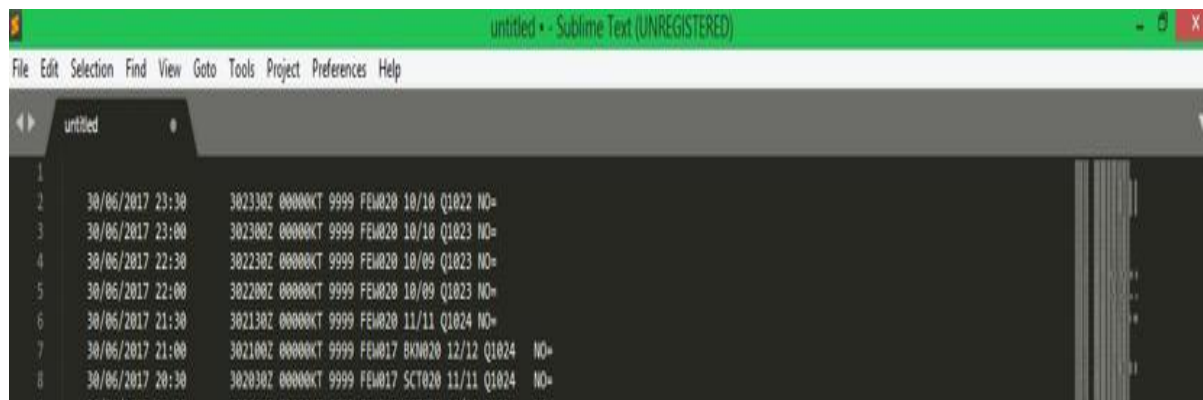
II.2.1 Passage de sublime text à Excel (CF CD)

On va traiter par mois ces données et voici le résumé des étapes :



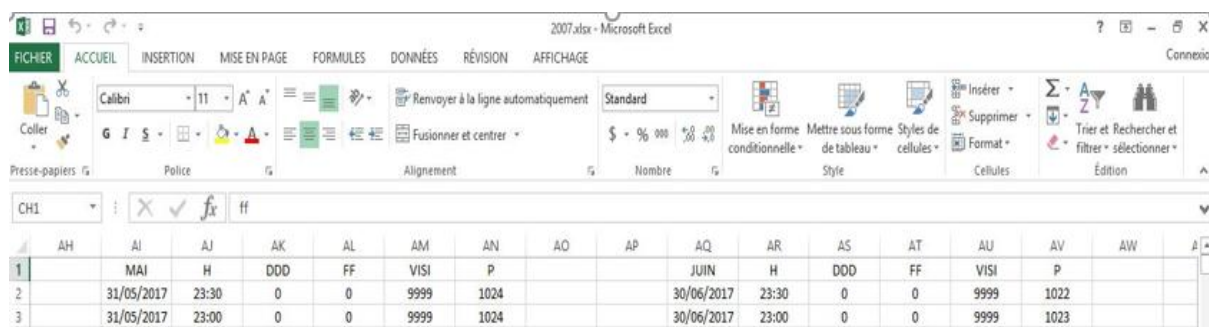
Photos 9 : Ouverture des données dans Sublime Text

Source : Auteur



Photos 10 : Alignement des données dans Sublime Text

Source : Auteur



	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX
1		MAI	H	DDD	FF	VISI	P			JUIN	H	DDD	FF	VISI	P		
2		31/05/2017	23:30	0	0	9999	1024			30/06/2017	23:30	0	0	9999	1022		
3		31/05/2017	23:00	0	0	9999	1024			30/06/2017	23:00	0	0	9999	1023		

Photos 11 : Affichage des valeurs des paramètres étudiés dans Excel

Source : Auteur

II.2.2 Trillage de chaque paramètre avec Sublime text : (CF CD)

Chaque paramètre a sa spécification de trillage mais ce sont les données bien alignées qu'on traitera (Photo11).

A-Le vent



	1	2	3	4	5
1					
2		30/06/2017	23:30	000	00
3		30/06/2017	23:00	000	00
4		30/06/2017	22:30	000	00
5		30/06/2017	22:00	000	00

Photos 12 : Obtention des valeurs du vent (ddd et ff) dans Sublime Text

Source : Auteur

B-La visibilité



	1	2	3	4
1				
2		9999		
3		9999		
4		9999		

Photos 13 : Obtention des valeurs de la visibilité dans le Sublime Text

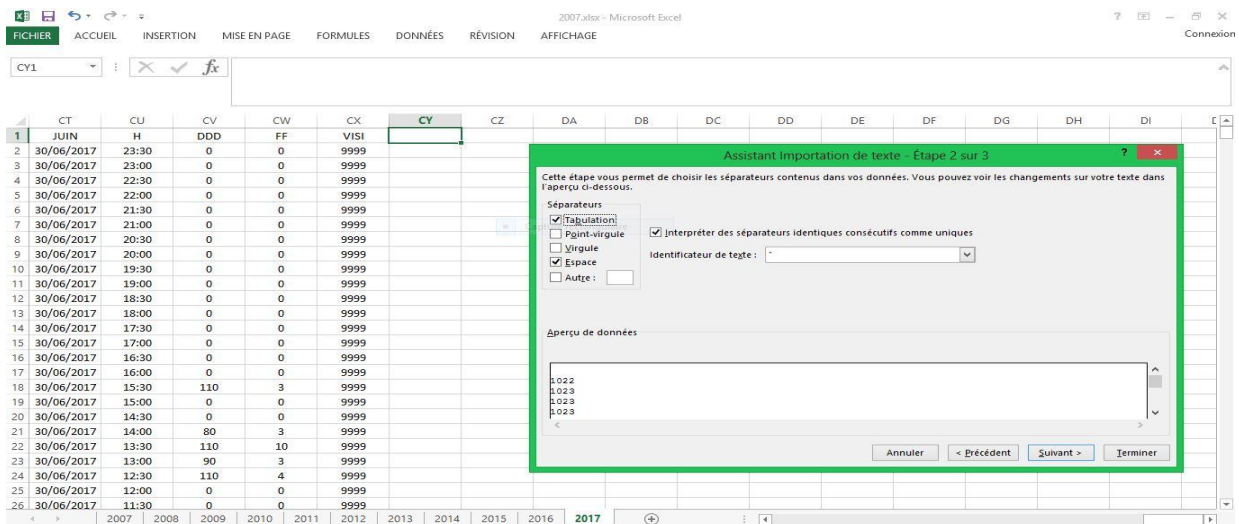
Source : Auteur

C-La pression



Photos 14 : Obtention des valeurs de la pression dans le Sublime Text

Source : Auteur



Photos 15 : Insertion de la pression du mois de juin 2017 dans Excel

Source : Auteur

II.2.3 Traitement des données dans Excel

A. Description d'Excel (CF CD)

B. Les fonctions utilisées

- Minimum (MIN)
- Maximum (MAX)
- Moyenne ou l'espérance mathématique (MOY)
- Variance (VAR)
- Ecart-type (E. TY)
- Fréquence (FRE) avec

$$\text{FRE} = \text{MOY mensuelle} * 100 / \text{Total (pour mensuelle)}$$

$$= \text{MOY annuelle} * 100 / \text{Total (pour annuelle)}$$

Les valeurs des FRE sont arrondies de 0 chiffres après la virgule.

- Total (TOT)

	A	B	C	D	E	F	G
1479		31/01/2017	19:30	100	9	9999	1017
1480		31/01/2017	20:00	100	5	9999	1017
1481		31/01/2017	20:30	100	10	9999	1017
1482		31/01/2017	21:00	90	7	9999	1017
1483		31/01/2017	21:30	70	7	9999	1016
1484		31/01/2017	22:00	50	2	9999	1016
1485		31/01/2017	22:30	0	0	9999	1016
1486		31/01/2017	23:00	100	2	9999	1017
1487		31/01/2017	23:30	0	0	9999	1017
1488							
1489			Moyenne	=arrondi(moyenne(D\$2:D1487);0)			

Photos 16 : exemple de recopie horizontale de la moyenne du janvier 2017

Source : Auteur

C. Caractéristiques mathématiques de chaque fonction utilisée dans Excel (CF CD)

	B	C	D	E	F	G	H
1	JAN	H	DDD	FF	VISI	P	FEV
728	16/01/2017	04:00	120	6	9999	1023	13/02/2017
729	16/01/2017	04:30	90	6	9999	1023	13/02/2017

Photos 17 : Filtre de maximum de P (1023) en janvier 2017

Source : Auteur

D. Les formules d'obtention des valeurs de fonctions par année (CF CD)

**TROISIEME PARTIE : RESULTATS,
COMPARAISONS ET
INTERPRETATIONS**

Chapitre I : VALEUR SEUIL POUR CHAQUE PARAMETRE [5]

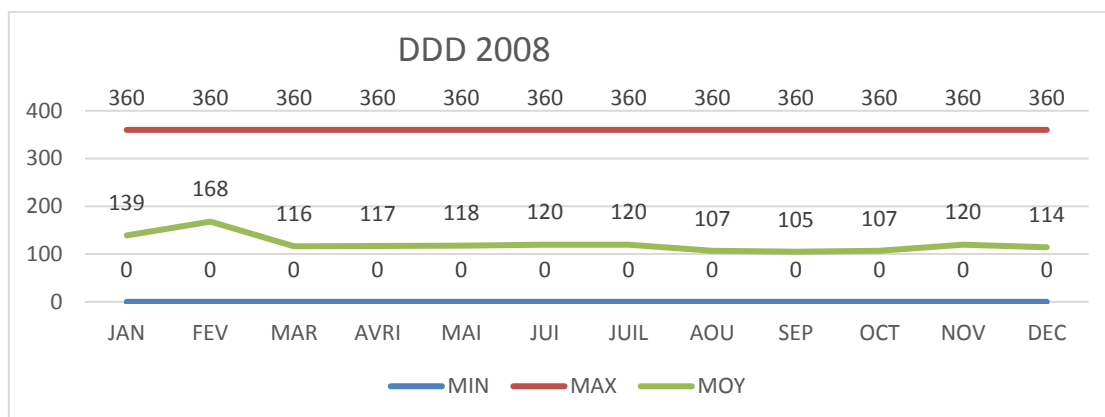
Nous avons besoin des valeurs seuils de chaque paramètre énuméré dans les parties précédentes pour voir la fiabilité de l'étude. Ces valeurs feront objet d'une comparaison par rapport aux valeurs exactes que nous avons obtenues mensuellement et annuellement.

Des recommandations de l'OMM, par le biais de l'OACI ont été mise en place pour la normalisation du domaine aéronautique internationale, y compris le seuil correspondant à chaque paramètre inclus dans les messages d'observations METAR et SPECI comme le vent, la visibilité et la pression :

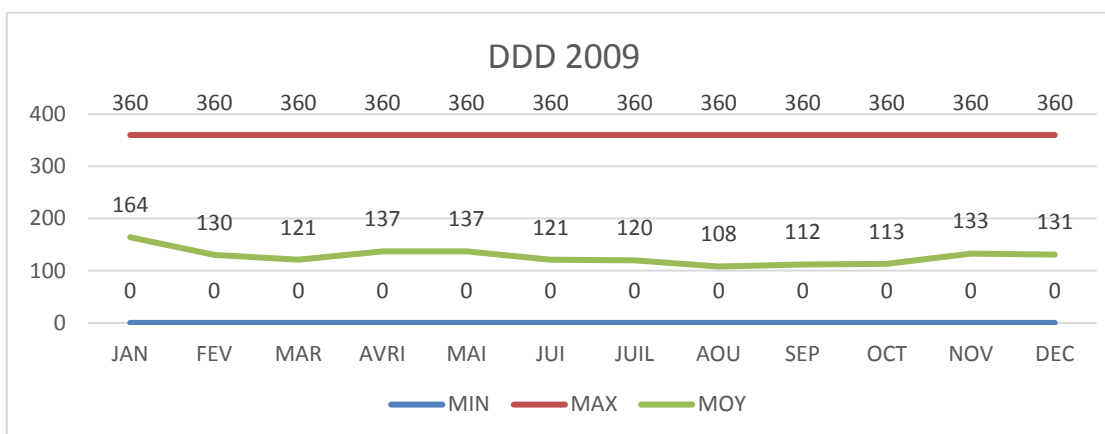
- ☞ Il est recommandé que les observations du vent de surface soient faites à une hauteur de 10 ± 1 m (30 ± 3 ft) au-dessus du sol.
- ☞ Lorsque la visibilité est mesurée au moyen de systèmes d'instruments, il est recommandé qu'elle soit mesurée à une hauteur d'environ 2,5 m (7,5 ft) au-dessus de la piste.
- ☞ Il est recommandé que le niveau de référence pour le calcul du QFE soit l'altitude de l'aérodrome. Pour les pistes avec approche classique dont le seuil est situé à 2 m (7 ft) ou davantage au-dessous de l'altitude de l'aérodrome et pour les pistes avec approche de précision, le QFE, s'il est requis, devrait être donné par rapport à l'altitude du seuil en question.

Chapitre II : COMPARAISONS ET INTERPRETATIONS

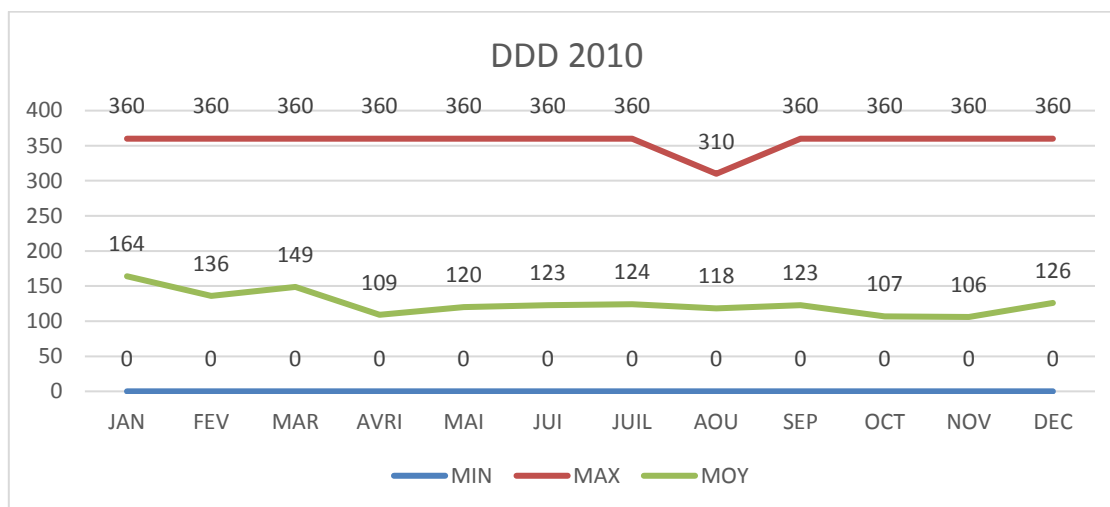
II.1 Les directions du vent



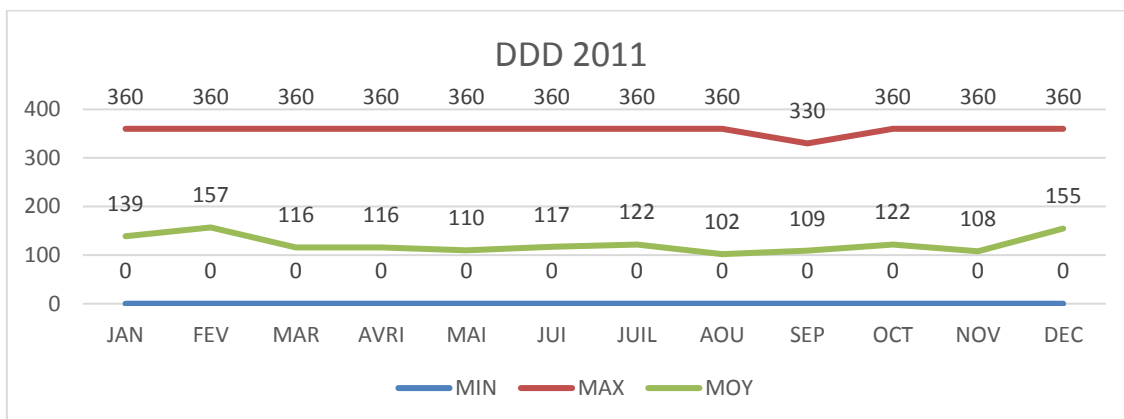
Graphe 1 : DDD 2008



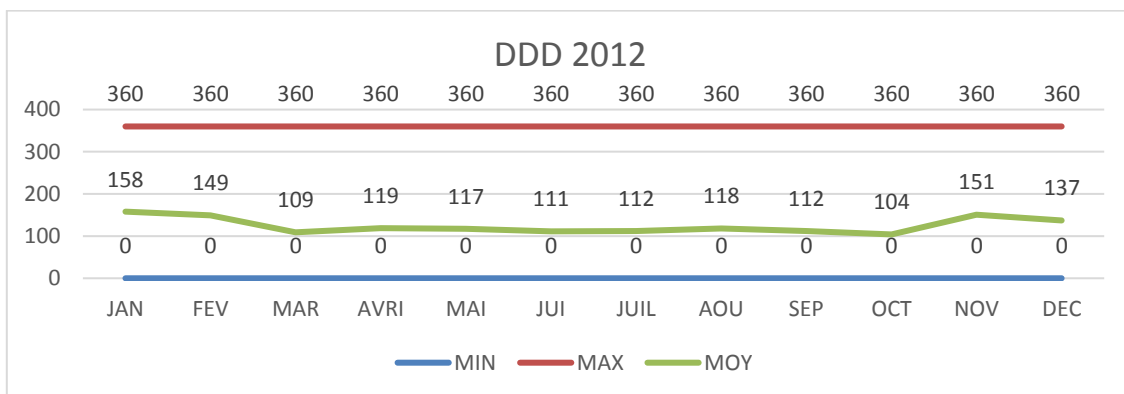
Graphe 2 : DDD 2009



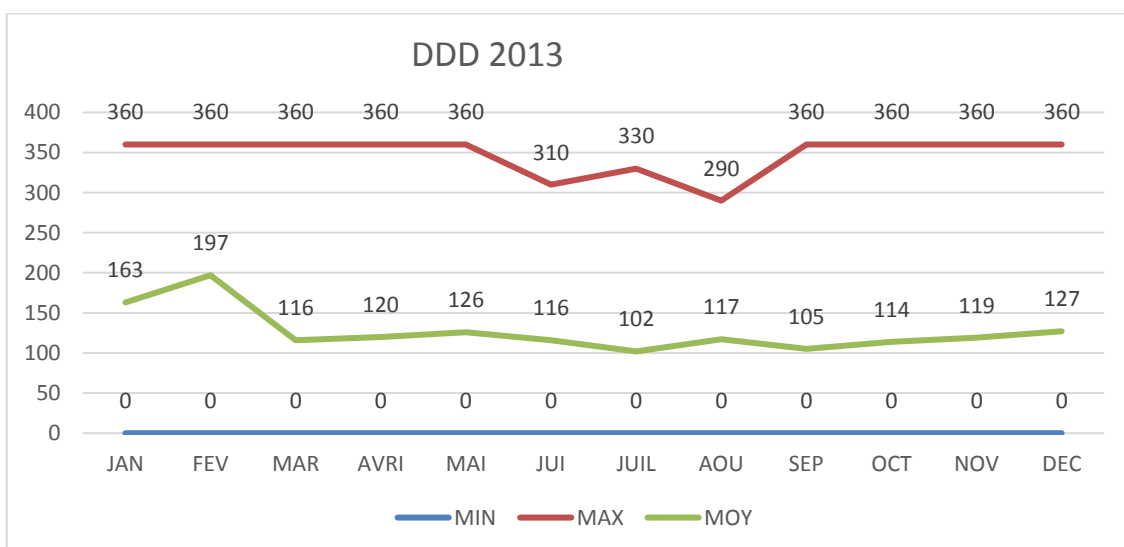
Gràphe 3 : DDD 2010



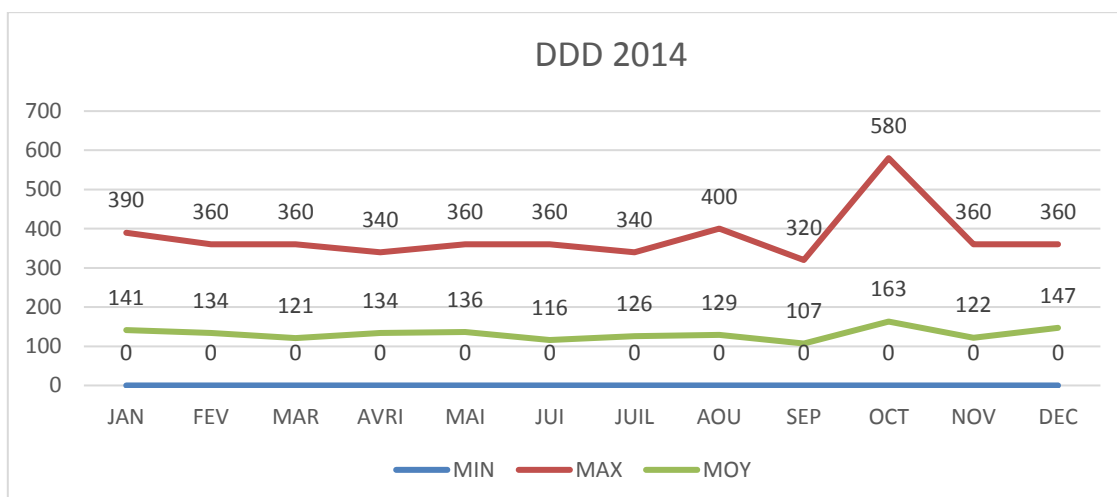
Graphe 4 : DDD 2011



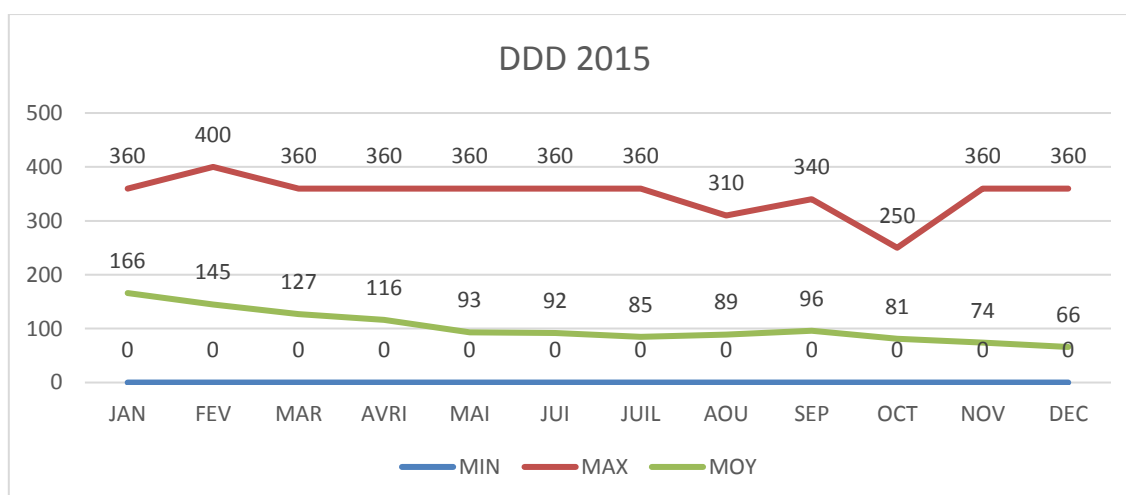
Graphe 5 : DDD 2012



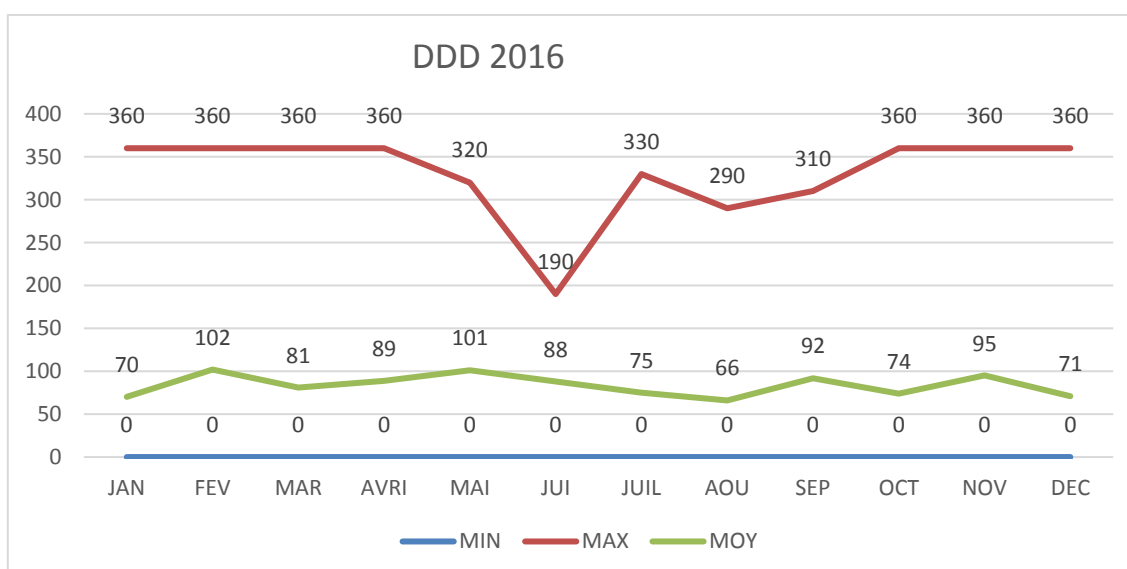
Graphe 6 : DDD 2013



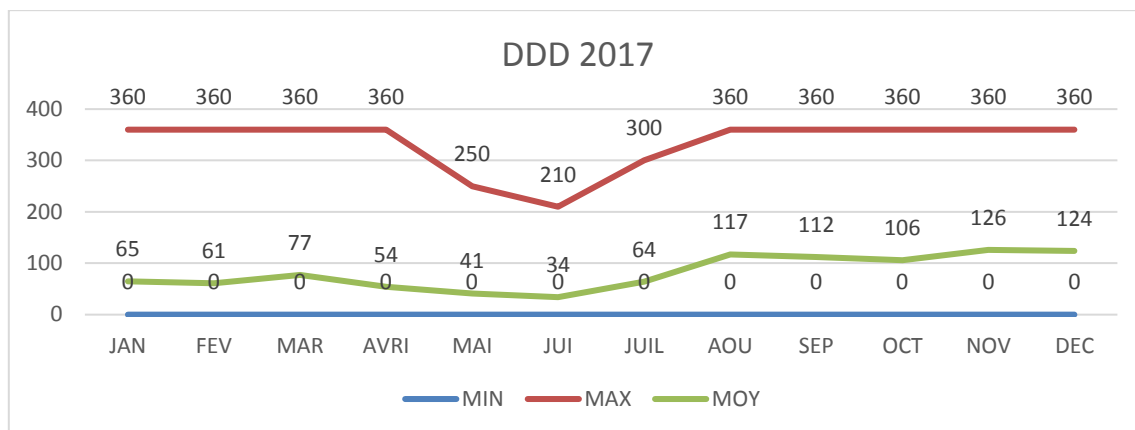
Gràphe 7 : DDD 2014



Gràphe 8 : DDD 2015



Gràphe 9 : DDD 2016



Graphe 10 : DDD 2017

Interprétations de DDD :

2008 :

Les valeurs de MIN de DDD de tous les mois sont égales à 0, donc, on utilise la piste 11 ou la piste 29. Tous les MAX de DDD sont du vent soufflant du nord vrai ainsi, on utilise la piste 29.

Pour les valeurs de MOY de DDD, voici les directions de chaque mois : Janvier : N-O (125°-145°) ; Février : O-N-O (148°-168°) ; Mars-Décembre : N-N-O (103°-123°). Par conséquence, on utilise la piste 29 pour tous ces mois.

2009 :

Les valeurs de MIN de DDD de tous les mois sont égales à 0, donc, on utilise la piste 11 ou la piste 29. Tous les MAX de DDD sont du vent soufflant vient du nord vrai, ainsi, on utilise la piste 29.

Pour les valeurs de MOY de DDD, voici les directions de chaque mois : Janvier : O-N-O (158°-178°) ; Février, Avril, Mai, Novembre, et Décembre : N-O (125°-145°) ; Mars, Juin-Octobre : N-N-O (103°-123. Par conséquence, on utilise la piste 29 pour tous ces mois.

2010 :

Les valeurs de MIN de DDD de tous les mois sont égales à 0, donc, on utilise la piste 11 ou la piste 29. Tous les MAX de DDD sont du vent soufflant vient du nord vrai, ainsi, on utilise la piste 29.

Pour les valeurs de MOY de DDD, voici les directions de chaque mois : Janvier : **O-N-O (158°-178°)** ; Février, Décembre : **N-O (125°-145°)** ; Mars : NO-ONO, Avril, Mai, Juin, Juillet, Aout, Septembre, Octobre, Novembre : **N-N-O (103°-123°)** ; Décembre : **N-O (125°-145°)**. Par conséquence, on utilise la piste 29 pour tous ces mois.

2011 :

Les valeurs de MIN de DDD de tous les mois sont égales à 0, donc, on utilise la piste 11 ou la piste 29. Tous les MAX de DDD sont du vent soufflant vient du nord vrai, ainsi, on utilise la piste 29.

Pour les valeurs de MOY de DDD, voici les directions de chaque mois : Janvier : **N-O (125°-145°)** ; Février, Décembre : **ONO-NO** ; Mars, Avril, Mai, Juin, Juillet, Septembre, Octobre, Novembre : **N-NO (103°-123°)** ; Aout : **N-NNO**. Par conséquence, on utilise la piste 29 pour tous ces mois.

2012 :

Les valeurs de MIN de DDD de tous les mois sont égales à 0, donc, on utilise la piste 11 ou la piste 29. Tous les MAX de DDD sont du vent soufflant vient du nord vrai, ainsi, on utilise la piste 29.

Pour les valeurs de MOY de DDD, voici les directions de chaque mois : Janvier : **ONO (158°-178°)** ; Février, Novembre : **ONO-NO** ; Mars, Avril, Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre, Octobre : **N-NO (103°-123°)** ; Décembre : **NO (125°-145°)**. Par conséquence, on utilise la piste 29 pour tous ces mois.

2013 :

Les valeurs de MIN de DDD de tous les mois sont égales à 0, donc, on utilise la piste 11 ou la piste 29. Tous les MAX de DDD sont du vent soufflant vient du nord vrai, ainsi, on utilise la piste 29.

Pour les valeurs de MOY de DDD, voici les directions de chaque mois : Janvier : **O-NO (158°-178°)** ; Février : **O-SO (193°-223°)** ; Mars, Avril, Juin, Aout, Septembre, Octobre, Novembre : **N-NO (103°-123°)** ; Mai, Décembre : **N-O (125°-145°)**, Juillet : **NNN0**. Par conséquence, on utilise la piste 29 pour tous ces mois.

2014 :

Les valeurs de MIN de DDD de tous les mois sont égales à 0, donc, on utilise la piste 11 ou la piste 29. Tous les MAX de DDD sont du vent soufflant vient du nord vrai (utilisant la piste 29), sauf les mois d'Avril et Juillet (vent du S-SE : utilisant la Piste 11). Pour les valeurs de MOY de DDD, voici les directions de chaque mois : Janvier, Février, Avril, Mai, Juillet, Aout : **N-O (125°-145°)** ; Mars, Juin, Septembre, Novembre : **N-NO (103°-123°)** ; Octobre : **O-NO (158°-178°)** ; Décembre **ONO-NO**. Par conséquence, on utilise la piste 29 pour tous ces mois.

2015 :

Les valeurs de MIN de DDD de tous les mois sont égales à 0, donc, on utilise la piste 11 ou la piste 29. Tous les MAX de DDD sont du vent soufflant vient du nord vrai (utilisant la piste 29), sauf les mois d'Août : S-E, Septembre : (vent du E-SE : utilisant la piste 11) et Octobre S-SO (utilisant la piste 11 ou celui de 29). Pour les valeurs de MOY de DDD, voici les directions de chaque mois : Janvier : O-NO (158° - 178°) ; Février, Mars : N-O (125° - 145°) ; Avril : **N-NO (103° - 123°)** ; Mai, Juin, Juillet, Aout, Septembre, Octobre : **N (80° - 100°)** ; Novembre, Décembre : **N-NE (58° - 78°)**

. Par conséquence, on utilise la piste 11 pour les mois de Novembre, Décembre et les restes utilisent la piste 29.

2016 :

Les valeurs de MIN de DDD de tous les mois sont égales à 0, donc, on utilise la piste 11 ou la piste 29. Tous les MAX de DDD sont du vent soufflant vient du nord vrai, ainsi, on utilise la piste 29.

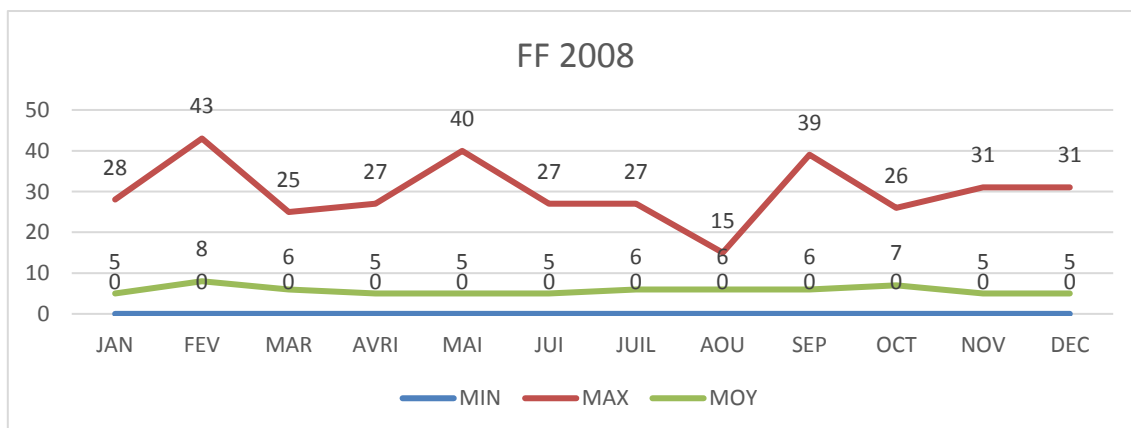
Pour les valeurs de MOY de DDD, voici les directions de chaque mois : Janvier, Juillet, Aout, Octobre, Décembre : **N-NE (58° - 78°)** ; Février, Mai : **NNO-N** ; Mars, Avril, Juin : **N (80° - $100^{\circ})$** ; Novembre : **N-E (35° - $55^{\circ})$** . Par conséquence, on utilise la piste 29 pour tous ces mois.

2017 :

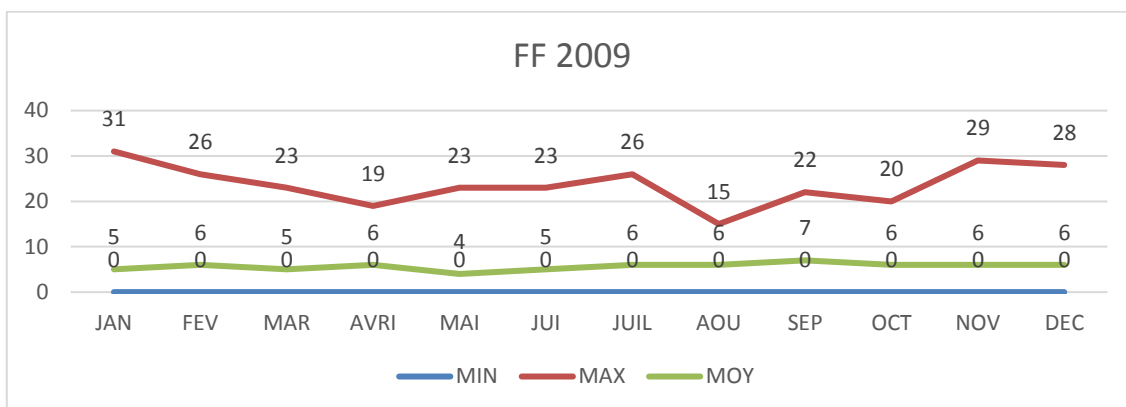
Les valeurs de MIN de DDD de tous les mois sont égales à 0, donc, on utilise la piste 11 ou la piste 29. Tous les MAX de DDD sont du vent soufflant vient du nord vrai, ainsi, on utilise la piste 29.

Pour les valeurs de MOY de DDD, voici les directions de chaque mois : Janvier, Février, Mars, Juillet : **N-NE (58° - $78^{\circ})$** ; Avril, Mai **N-E (35° - $55^{\circ})$** ; Juin : **NE-ENE** ; Aout, Septembre, Octobre : **N-NO** ; Novembre : **N-O (125° - $145^{\circ})$** ; Décembre : **NO-NN0**. Par conséquence, on utilise la piste 29 pour tous ces mois.

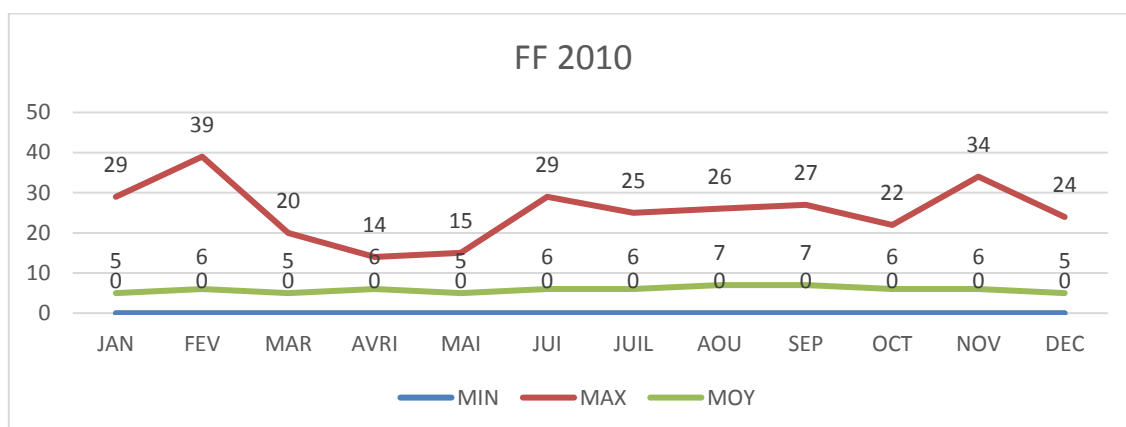
II.2 Les forces du vent



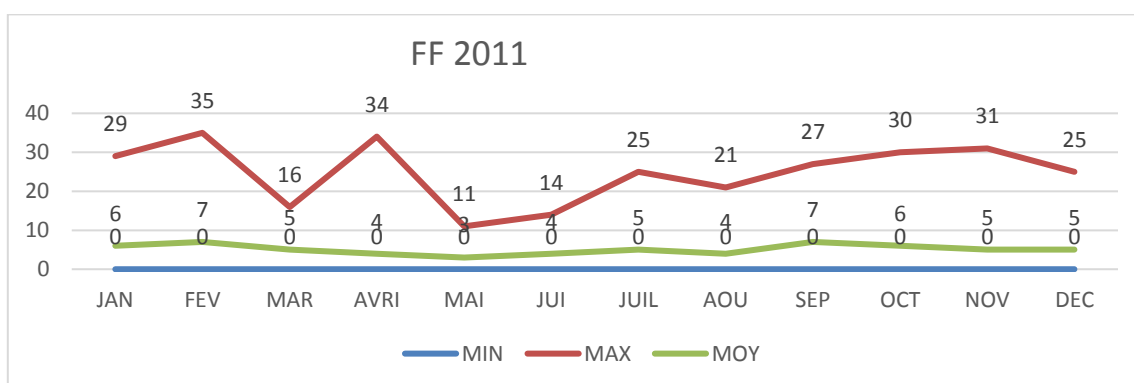
Graphe 11 : FF 2008



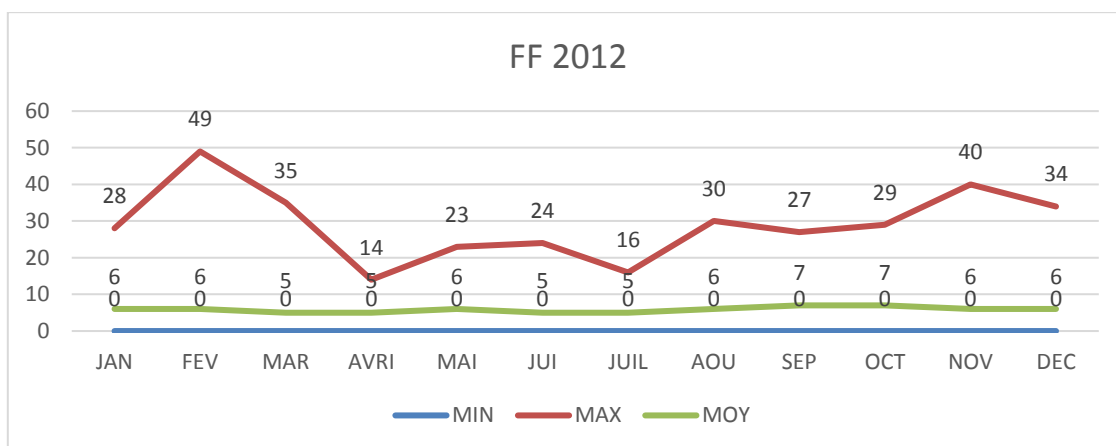
Graphe 12 : FF 2009



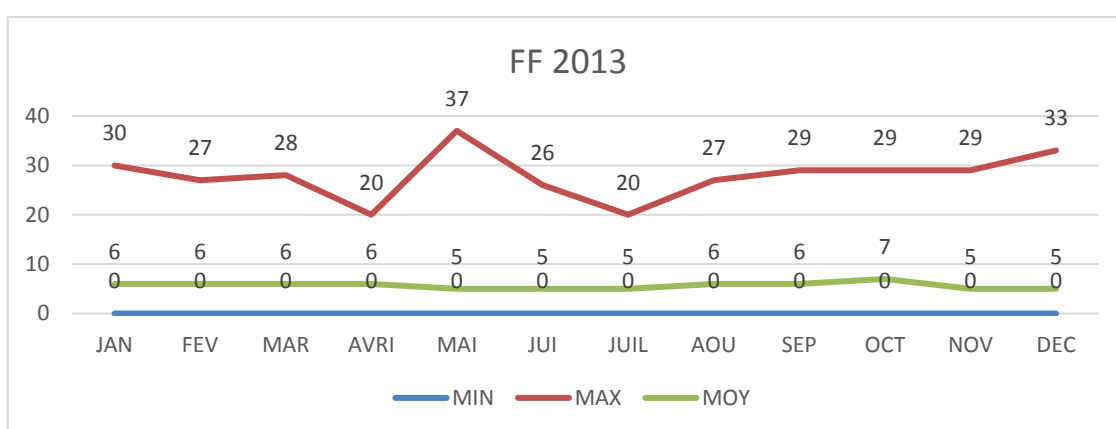
Graphe 13 : FF 2010



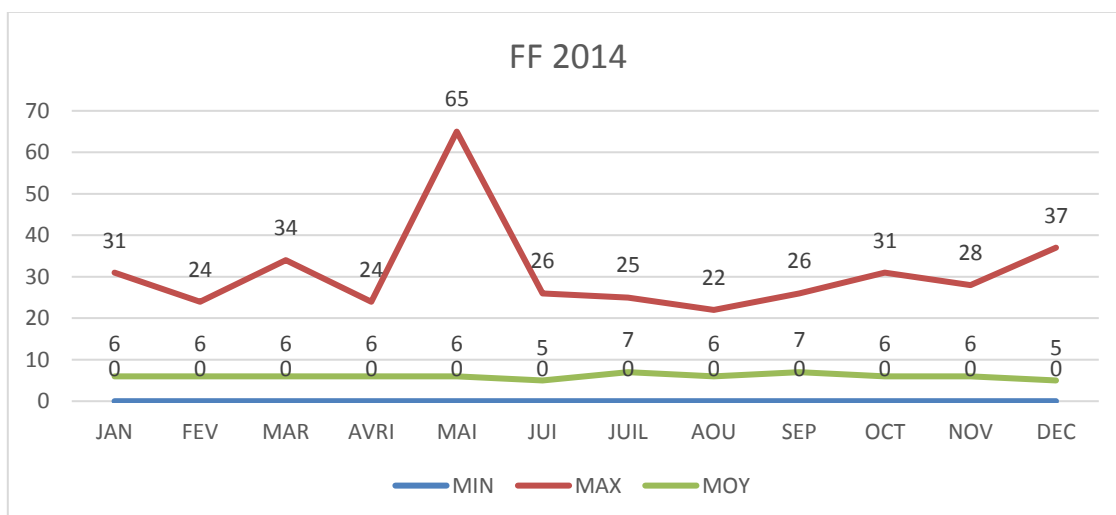
Graphe 14 : FF 2011



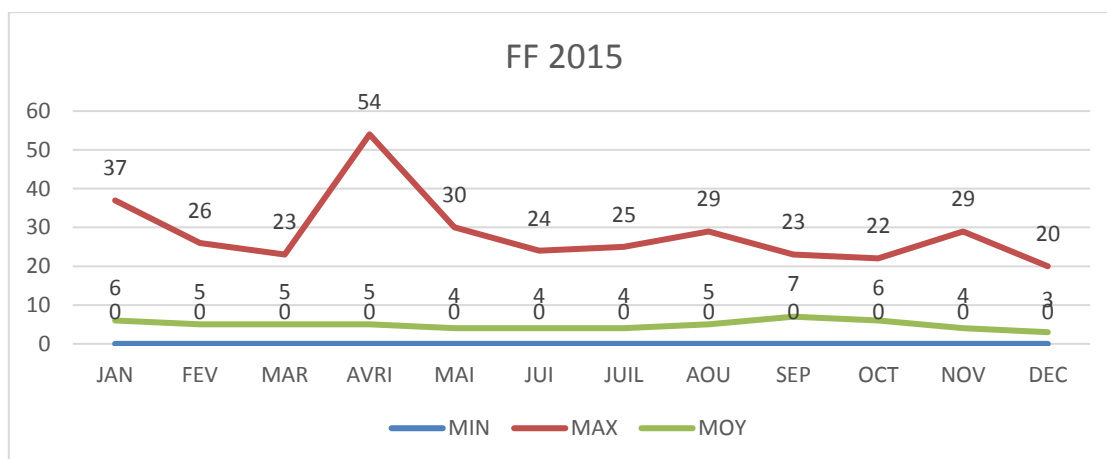
Graphe 15 : FF 2012



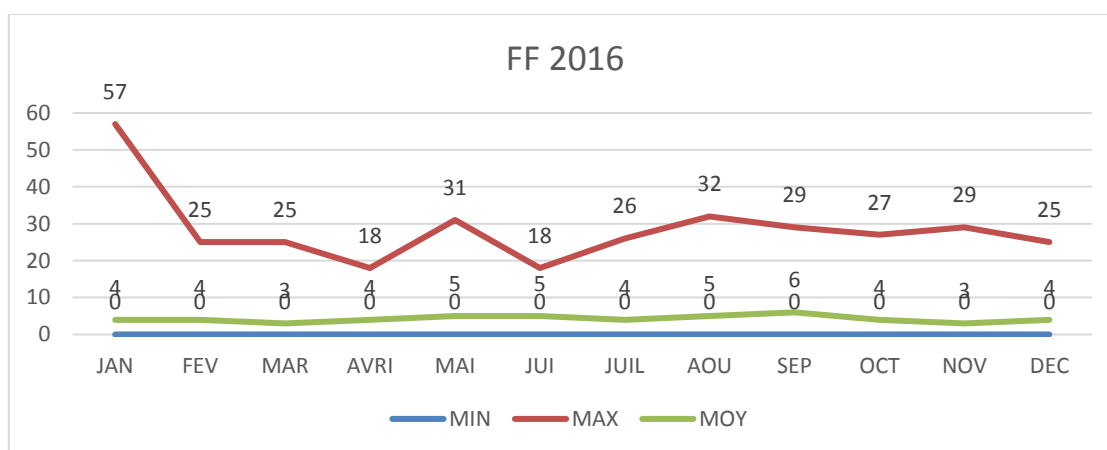
Graphe 16 : FF 2013



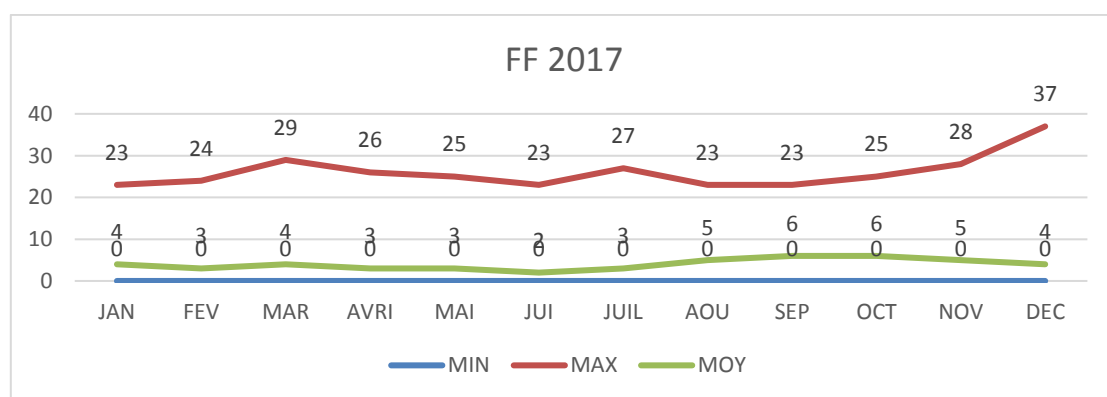
Graphe 17 : FF 2014



Grphe 18 : FF 2015



Grphe 19 : FF 2016



Grphe 20 : FF 2017

Interprétations de FF :

2008 :

Les valeurs de MIN de FF de tous les mois sont égales à 0, qui sont de vent calmes et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747.

Les valeurs de MOY de FF sont de classes modérées, qui sont entre 5 (JAN)-8 (FEV) Kt et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747. Ensuite, celui des MAX sont de classes très fortes, entre 15 (AOU) - 43 (FEV) Kt. Ainsi, **Février** est le mois de pic qui a la plus courte longueur de décollage, donc il est plus avantageux que les autres mois sur la dépense de carburant de Boeing 747, avec : piste 11, le 18/02/08 à 13 : 30, et 15 TU.

2009 :

Les valeurs de MIN de FF de tous les mois sont égales à 0, qui sont de vent calmes et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747.

Les valeurs de MOY de FF sont de classes modérées, sauf le mois de Mai, qui est léger, elles sont entre 4 (MAI)-7 (SEP) Kt et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747. Ensuite, celui des MAX sont de classes très fortes, entre 15 (AOU) - 31 (JAN) Kt. Ainsi, **Janvier** est le mois de pic qui a la plus courte longueur de décollage, donc il est plus avantageux que les autres mois sur la dépense de carburant de Boeing 747, avec : piste 11, le 19/01/09 à 15 TU et 21/01/9 à 9 : 30 TU.

2010 :

Les valeurs de MIN de FF de tous les mois sont égales à 0, qui sont de vent calmes et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747.

Les valeurs de MOY de FF sont de classes modérées et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747. Ensuite, celui des MAX sont de classes très fortes, entre 14 (AVR) - 39 (FEV) Kt. Ainsi, **Février** est le mois de pic qui a la plus courte longueur de décollage, donc il est plus avantageux que les autres mois sur la dépense de carburant de Boeing 747, avec : piste 11 et le 27/02/2010 à 16 : 00 TU.

2011 :

Les valeurs de MIN de FF de tous les mois sont égales à 0, qui sont de vent calmes et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747.

Les valeurs de MOY de FF sont de classes modérées et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747. Ensuite, celui des MAX sont de classes très fortes, entre 11 (MAI) - 35 (FEV) Kt. Ainsi, **Février** est le mois de pic qui a la plus courte longueur de décollage, donc il est plus avantageux que les autres mois sur la dépense de carburant de Boeing 747, avec : Piste 11, le 18/02/11 à 13 : 00 TU.

2012 :

Les valeurs de MIN de FF de tous les mois sont égales à 0, qui sont de vent calmes et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747.

Les valeurs de MOY de FF sont de classes modérées et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747. Ensuite, celui des MAX sont de classes très fortes, entre 14 (AVR) - 49 (FEV) Kt. Ainsi, **Février** est le mois de pic qui a la plus courte longueur de décollage, donc il est plus avantageux que les autres mois sur la dépense de carburant de Boeing 747, avec : piste 11, le 14/02/12 à 02 : 00 TU.

2013 :

Les valeurs de MIN de FF de tous les mois sont égales à 0, qui sont de vent calmes et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747.

Les valeurs de MOY de FF sont de classes modérées et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747. Ensuite, celui des MAX sont de classes très fortes, entre 20 (AVR) - 37 (MAI) Kt. Ainsi, **Mai** est le mois de pic qui a la plus courte longueur de décollage, donc il est plus avantageux que les autres mois sur la dépense de carburant de Boeing 747, avec : piste 29, le 26/05/13 à 12 : 00 TU.

2014 :

Les valeurs de MIN de FF de tous les mois sont égales à 0, qui sont de vent calmes et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747.

Les valeurs de MOY de FF sont de classes modérées et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747. Ensuite, celui des MAX sont de classes très fortes, entre 22 (AOU) - 65 (MAI) Kt. Ainsi, **Mai** est le mois de pic qui a la plus courte longueur de décollage, donc il est plus avantageux que les autres mois sur la dépense de carburant de Boeing 747, avec : piste 29, le 31/05/14 à 20 : 30 TU.

2015 :

Les valeurs de MIN de FF de tous les mois sont égales à 0, qui sont de vent calmes et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747.

Les valeurs de MOY de FF sont de classes modérées (Janvier-Avril, Aout, Septembre, Octobre) et **léger** (Mai, Juin, Juillet, Novembre, Décembre), mais elles ne représentent aucun danger pour le Boeing 747. Ensuite, celui des MAX sont de classes très fortes, entre 20 (DEC) - 54 (AVR). Ainsi, **Avril** est le mois de pic qui a la plus courte longueur de décollage, donc il est plus avantageux que les autres mois sur la dépense de carburant de Boeing 747, avec : piste 29, le 10/04/15 à 00 : 30 h TU.

2016 :

Les valeurs de MIN de FF de tous les mois sont égales à 0, qui sont de vent calmes et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747.

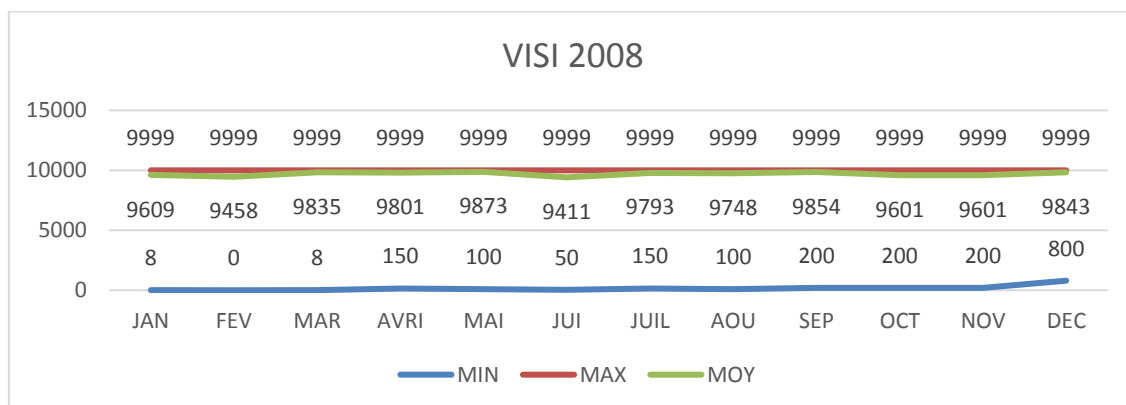
Les valeurs de MOY de FF sont de classes modérées et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747. Ensuite, celui des MAX sont de classes très fortes, entre 18 (AVR) - 57 (JAN) Kt. Ainsi, **Janvier** est le mois de pic qui a la plus courte longueur de décollage, donc il est plus avantageux que les autres mois sur la dépense de carburant de Boeing 747, avec : piste 29, le 27/01/16 à 19 : 30 TU.

2017 :

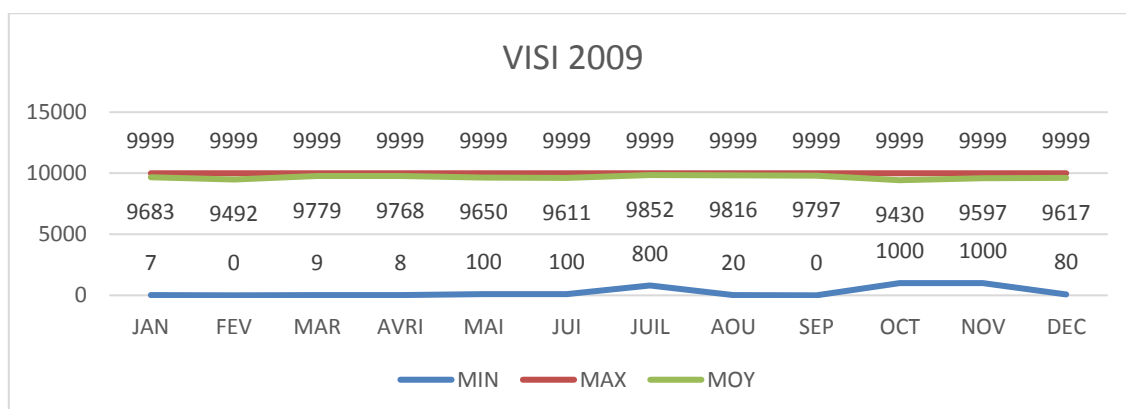
Les valeurs de MIN de FF de tous les mois sont égales à 0, qui sont de vent calmes et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747.

Les valeurs de MOY de FF sont de classes modérées et ne représentent aucun danger pour le Boeing 747. Ensuite, celui des MAX sont de classes très fortes, entre 23 (JAN, JUI, AOU) - 37 (DEC) Kt. Ainsi, **Décembre** est le mois de pic qui a la plus courte longueur de décollage, donc il est plus avantageux que les autres mois sur la dépense de carburant de Boeing 747, avec : avec piste 11, le 30/12/17 à 14 : 00 TU.

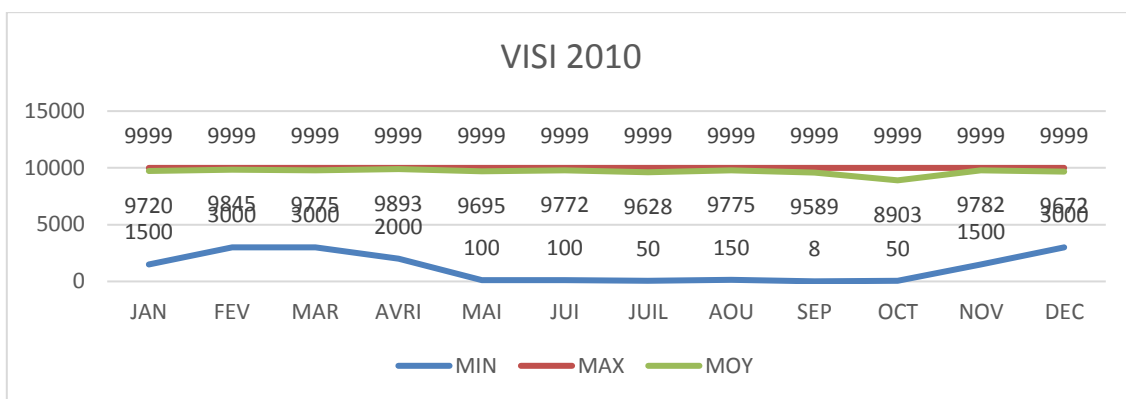
II.3 Les visibilité



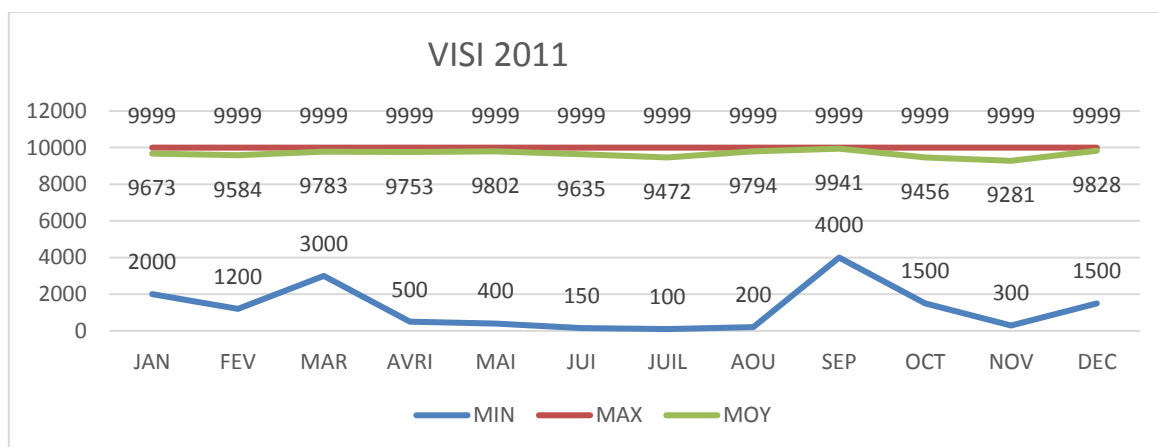
Graphe 21 : VISI 2008



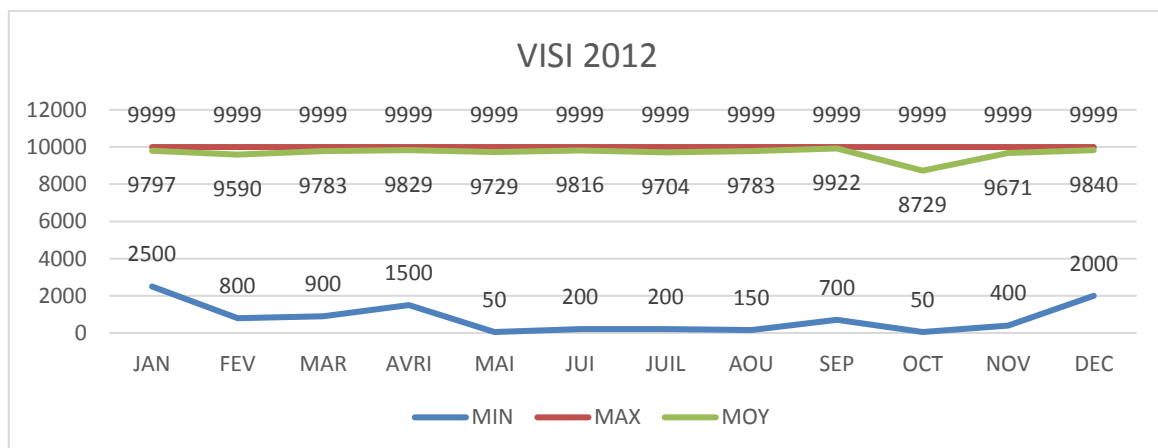
Graphe 22 : VISI 2009



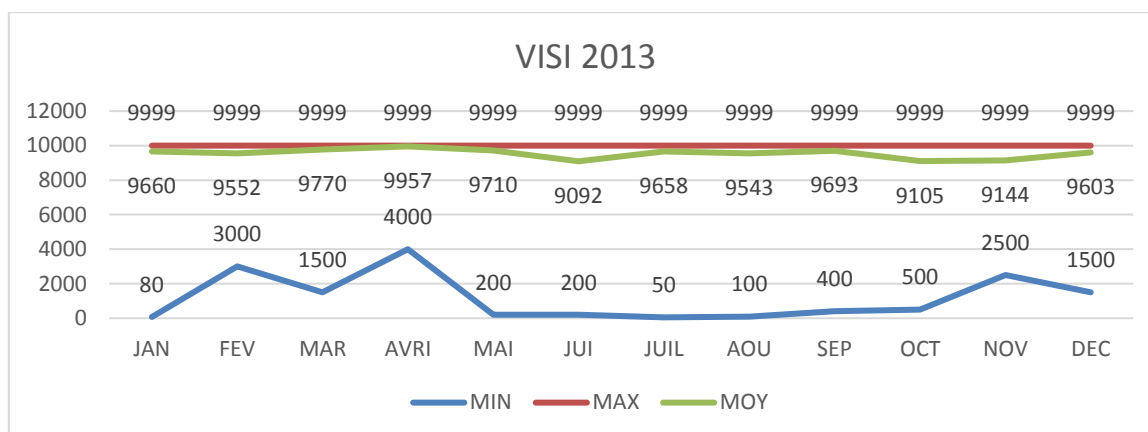
Gràphe 23 : VISI 2010



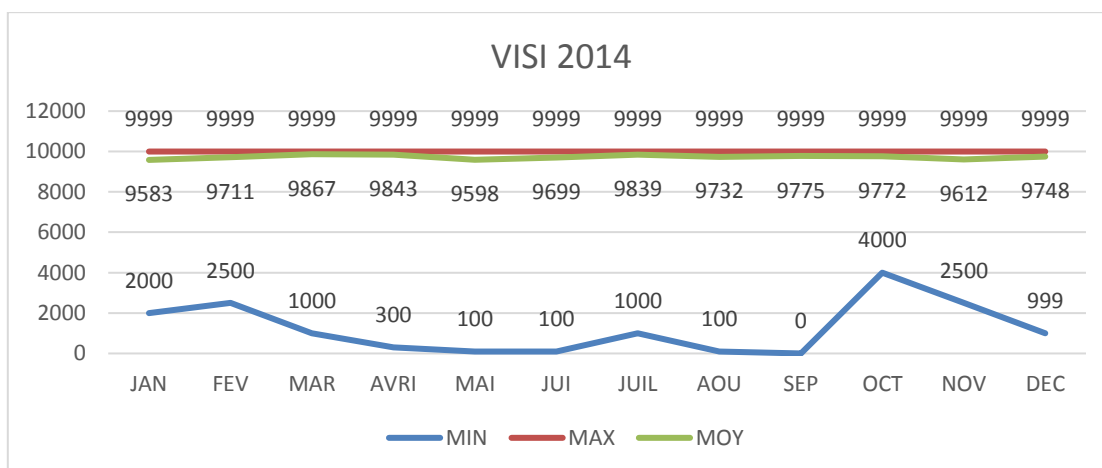
Gràphe 24 : VISI 2011



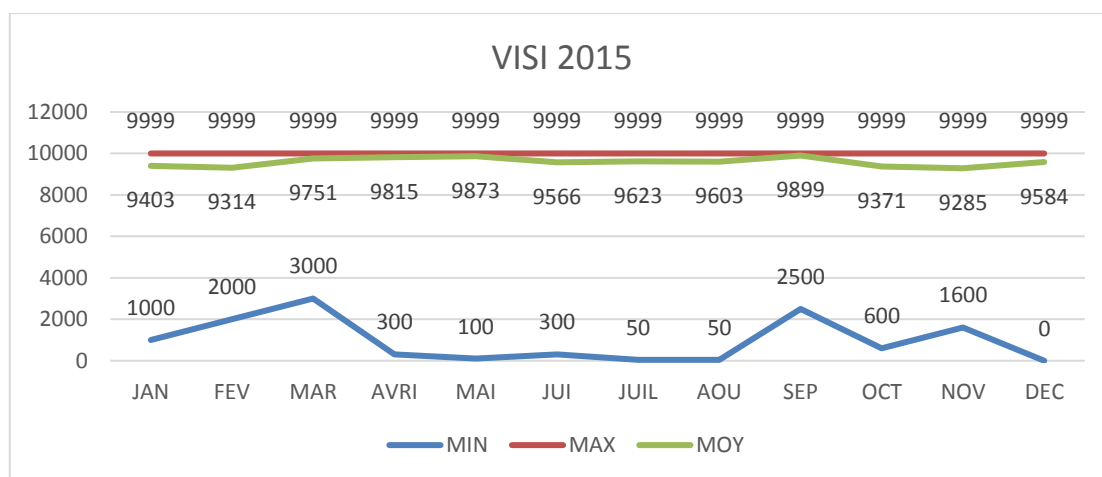
Gràphe 25 : VISI 2012



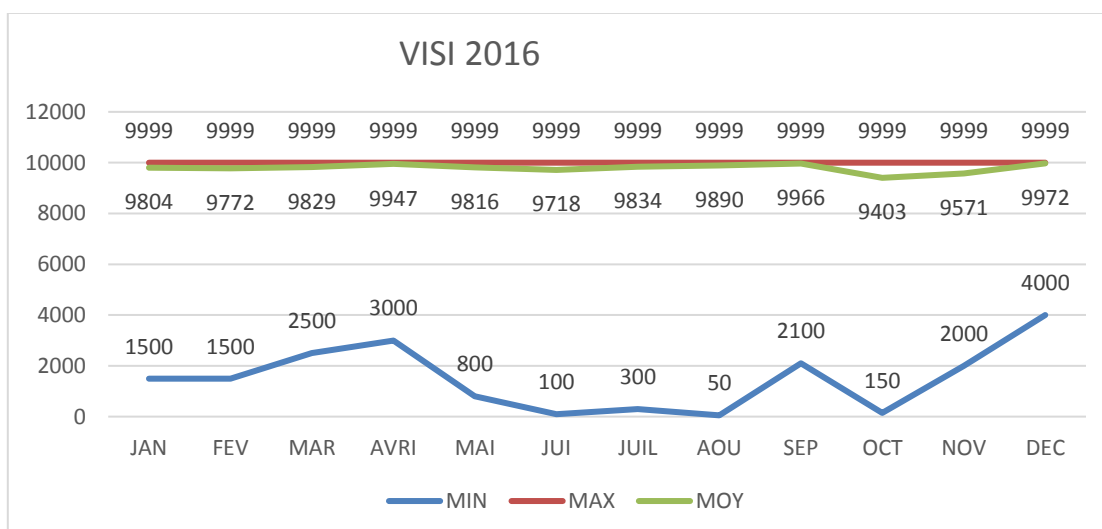
Graphe 26 : VISI 2013



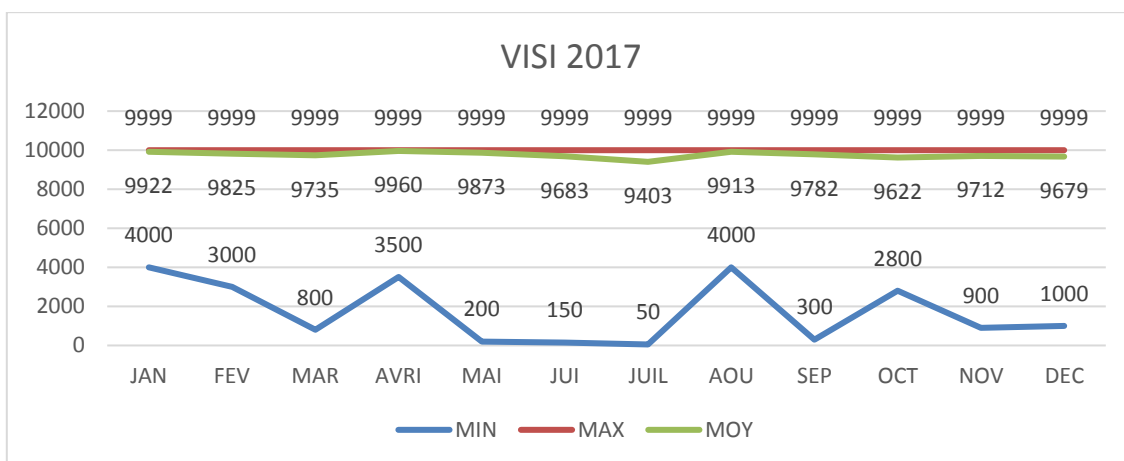
Gràphe 27 : VISI 2014



Gràphe 28 : VISI 2015



Gràphe 29 : VISI 2016



Grappe 30 : VISI 2017

Interprétations de VISI :

2008 :

Les valeurs des MIN de tous les mois sont mauvaises, entre : 0 (FEV)- 800 (DEC) m. Alors, c'est en **Février** qu'il y avait plus de difficulté de vue pour un pilote, avec la piste 11, le 08/02/08 vers 03 :00 TU. Ensuite, Les MOY sont bien dégagées, des valeurs entre 9411 (JUI) – 9873 (MAI) m. Et les valeurs des MAX sont CAVOK. Ainsi, ils ne présentent aucun danger pour le décollage et atterrissage de Boeing 747.

2009 :

Les valeurs des MIN de tous les mois sont mauvaises, entre : 0 (FEV)- 1000 (OCT, NOV) m. Alors, c'est en **Février** qu'il y avait plus de difficulté de vue pour un pilote, avec la piste 29, le 09/02/09 (04 : 30 TU), 10/02/2009 (07 : 00 TU), 12/02/09 (23 : 30 TU), 13/02/09 (03 : 30 TU), 20/02/09 (15 : 00 TU). Ensuite, Les MOY sont bien dégagées, des valeurs entre 9430 (OCT) – 9852 (JUIL) m. Et les valeurs des MAX sont CAVOK. Ainsi, ils ne présentent aucun danger pour le décollage et atterrissage de Boeing 747.

2010 :

Les valeurs des MIN de tous les mois sont mauvaises, entre : : 8 (SEP)- 3000 (FEV, MAR, DEC) m. Alors, c'est en **Septembre** qu'il y avait plus de difficulté de vue pour un pilote, avec la piste 29, le 24/09/10 à 6 : 00 TU. Ensuite, Les MOY sont bien dégagées, des valeurs entre 8903 (OCT) – 9893 (AVR) m. Et les valeurs des MAX sont CAVOK. Ainsi, ils ne présentent aucun danger pour le décollage et atterrissage de Boeing 747.

2011 :

Les valeurs des MIN de tous les mois sont mauvaises, entre : 100 (JUI)- 4000 (SEP) m. Alors, c'est en **Juillet** qu'il y avait plus de difficulté de vue pour un pilote, avec la piste 11, le 02 à

06 : 30 TU, le 03 à 06-06 : 30 TU et le 20 à 04 : 30 TU. Ensuite, Les MOY sont bien dégagées, des valeurs entre 9281 (NOV) – 9941 (SEP) m. Et les valeurs des MAX sont CAVOK. Ainsi, ils ne présentent aucun danger pour le décollage et atterrissage de Boeing 747.

2012 :

Les valeurs des MIN de tous les mois sont mauvaises, entre : 50 (OCT)- 2500 (JAN) m. Alors, c'est en **Octobre** qu'il y avait plus de difficulté de vue pour un pilote, avec la piste 29, le 09/02/12 à 13 : 30 et le 17/02/12 à 13 : 00 TU. Ensuite, Les MOY sont bien dégagées, des valeurs entre 9671 (NOV) – 9922 (SEP) m. Et les valeurs des MAX sont CAVOK. Ainsi, ils ne présentent aucun danger pour le décollage et atterrissage de Boeing 747.

2013 :

Les valeurs des MIN de tous les mois sont mauvaises, entre : 50 (JUIL)- 4000 (AVR) m. Alors, c'est en **Juillet** qu'il y avait plus de difficulté de vue pour un pilote, avec la piste 29, le 05/07/13 à 03 : 30- 04 : 30 TU. Ensuite, Les MOY sont bien dégagées, des valeurs entre : 9082 (JUI) – 9957 (AVR) m. Et les valeurs des MAX sont CAVOK. Ainsi, ils ne présentent aucun danger pour le décollage et atterrissage de Boeing 747.

2014 :

Les valeurs des MIN de tous les mois sont mauvaises, entre : 100 (AOU)- 4000 (OCT) m. Alors, c'est en **Août** qu'il y avait plus de difficulté de vue pour un pilote, avec la piste 29, le 02/08/14 à 06 : 00 TU. Ensuite, Les MOY sont bien dégagées, des valeurs entre : 9583 (JAN) – 9867 (MAR) m. Et les valeurs des MAX sont CAVOK. Ainsi, ils ne présentent aucun danger pour le décollage et atterrissage de Boeing 747.

2015 :

Les valeurs des MIN de tous les mois sont mauvaises, entre : 0 (DEC)- 50 (CT) m. Alors, c'est en **Décembre** qu'il y avait plus de difficulté de vue pour un pilote, avec la piste 29, le 24/12/15 à 21 : 30 TU. Ensuite, Les MOY sont bien dégagées, des valeurs entre : 9285 (NOV) – 9899 (SEP) m. Et les valeurs des MAX sont CAVOK. Ainsi, ils ne présentent aucun danger pour le décollage et atterrissage de Boeing 747.

2016 :

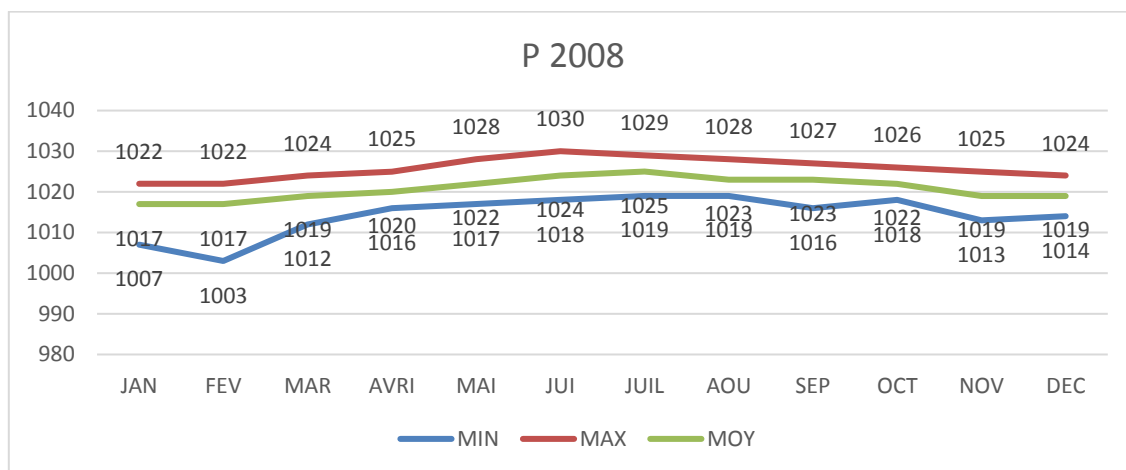
Les valeurs des MIN de tous mois sont tous mauvaises, entre : 50 (AOU)- 4000 (DEC). Alors, c'est en **Août** qu'il y avait plus de difficulté de vue pour un pilote, avec la piste 29, le 05/08/16 à 03 : 30 – 04 : 00 h TU. Ensuite, Les MOY sont bien dégagées, des valeurs entre :

9403 (OCT) – 9972 (DEC). Et les valeurs des MAX sont CAVOK. Ainsi, ils ne présentent aucun danger pour le décollage et atterrissage de Boeing 747.

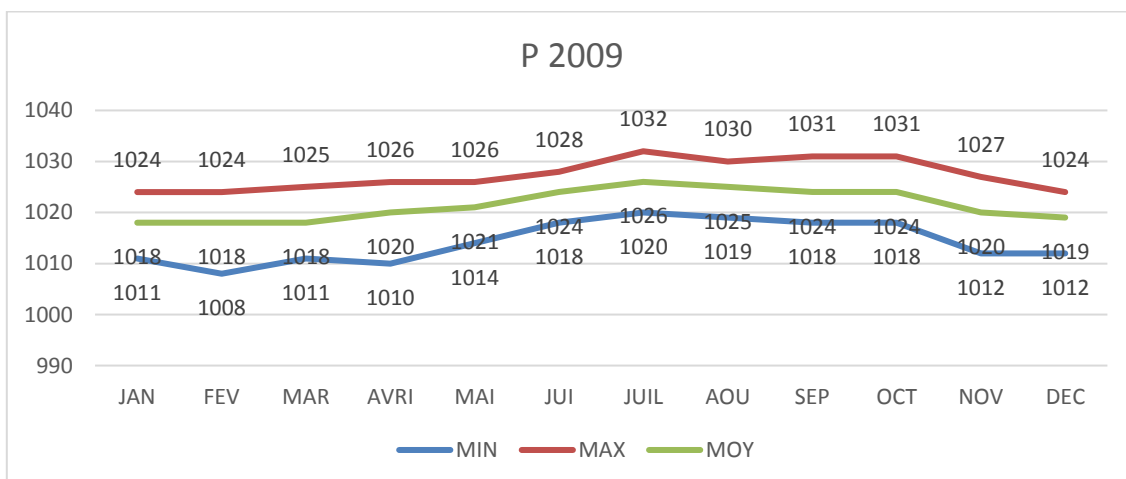
2017 :

Les valeurs des MIN de tous les mois sont mauvaises, entre : 50 (JUIL)- 4000 (AOU) m. Alors, c'est en **Juillet** qu'il y avait plus de difficulté de vue pour un pilote, avec la piste 29, le 17/07/17 à 04 : 30 TU. Ensuite, Les MOY sont bien dégagées, des valeurs entre : 9403 (JUIL) – 9960 (AVR) m. Et les valeurs des MAX sont CAVOK. Ainsi, ils ne présentent aucun danger pour le décollage et atterrissage de Boeing 747.

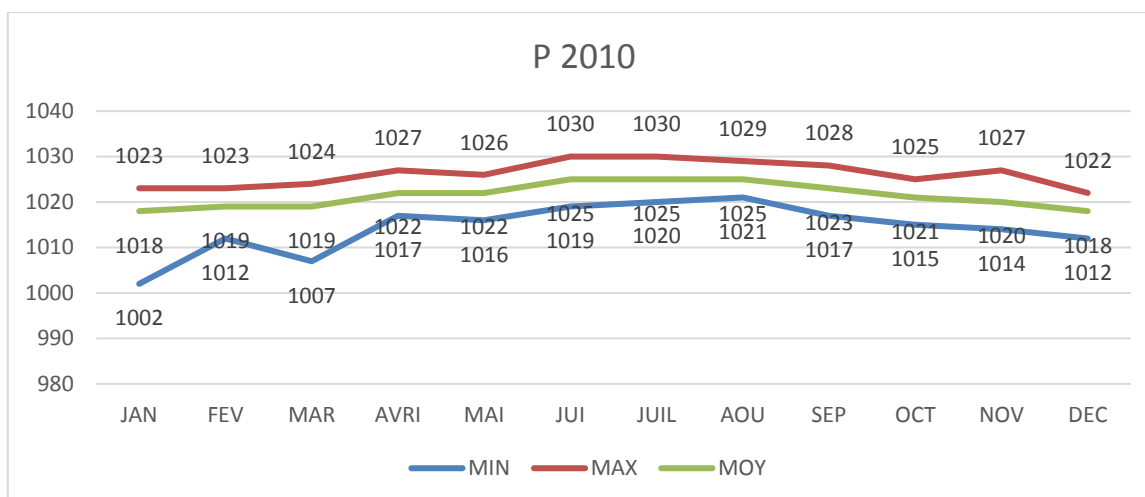
II.4 Les pressions



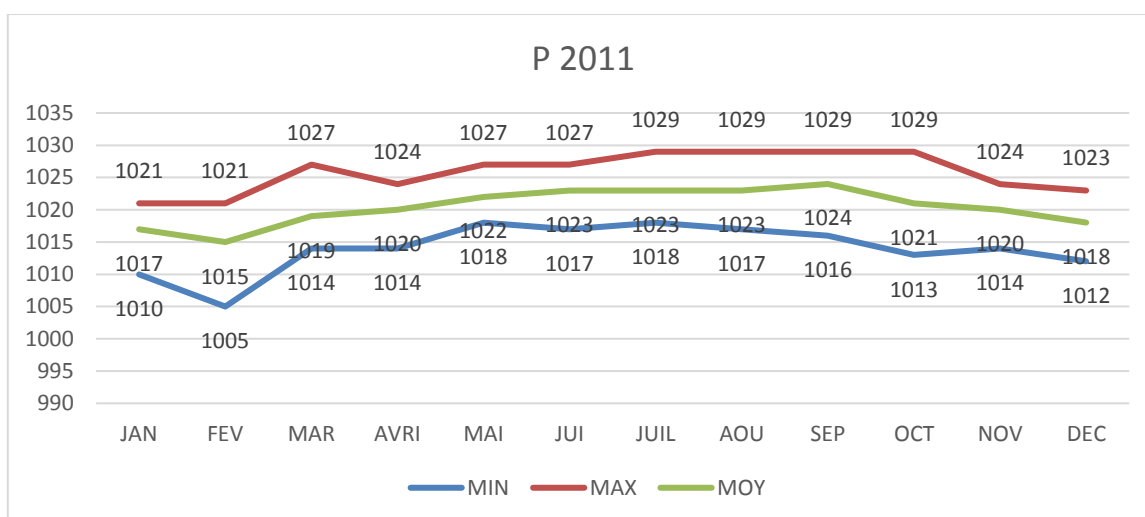
Graphe 31 : P 2008



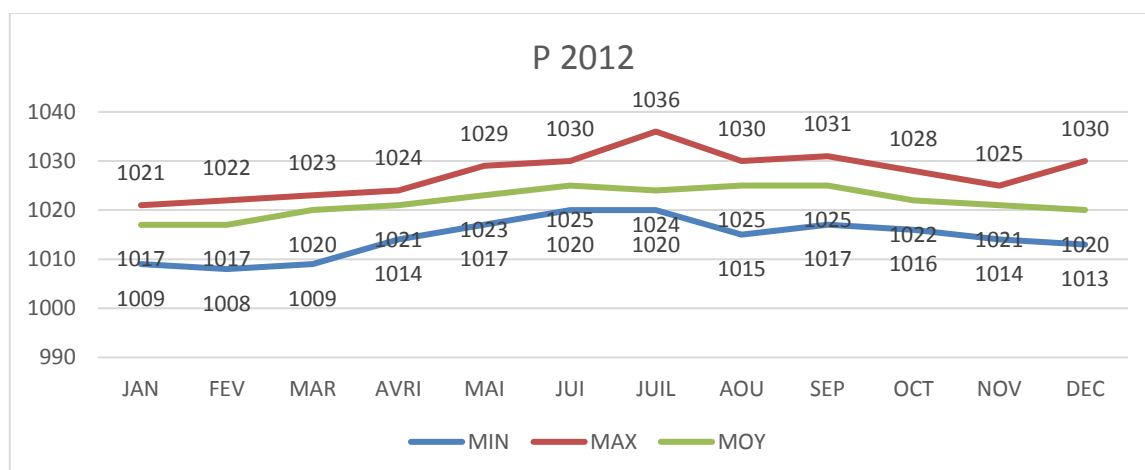
Graphe 32 : P 2009



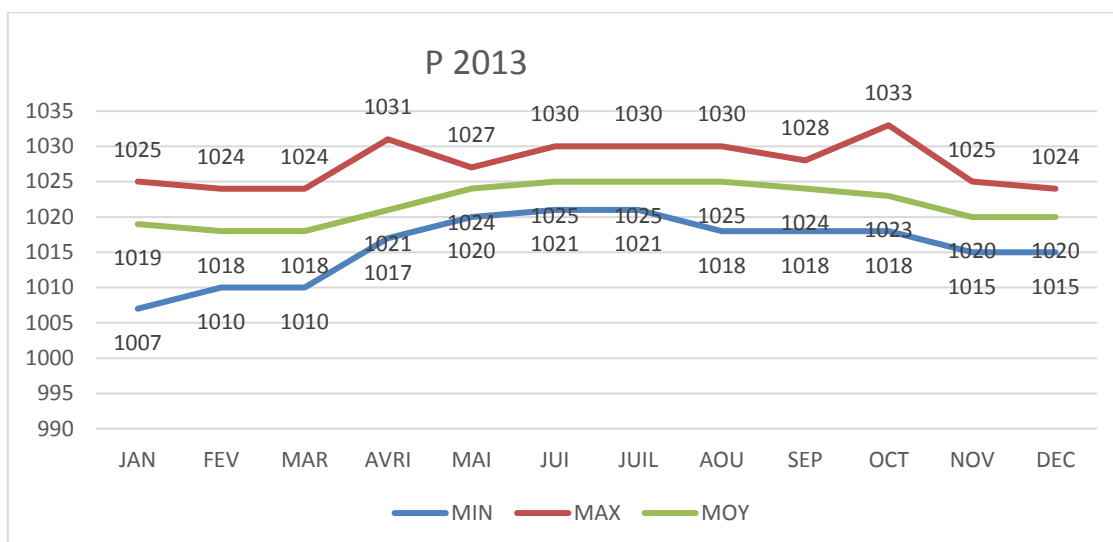
Gràphe 33 : P 2010



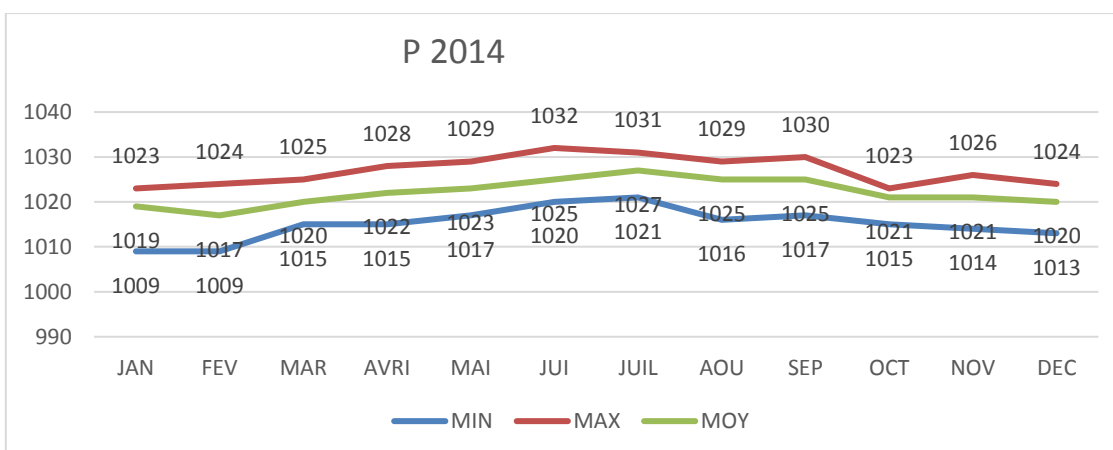
Gràphe 34 : P 2011



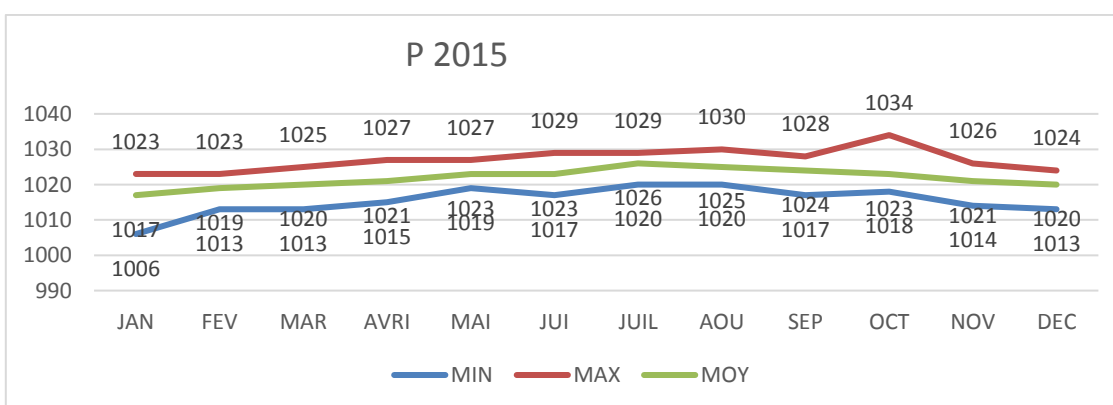
Gràphe 35 : P 2012



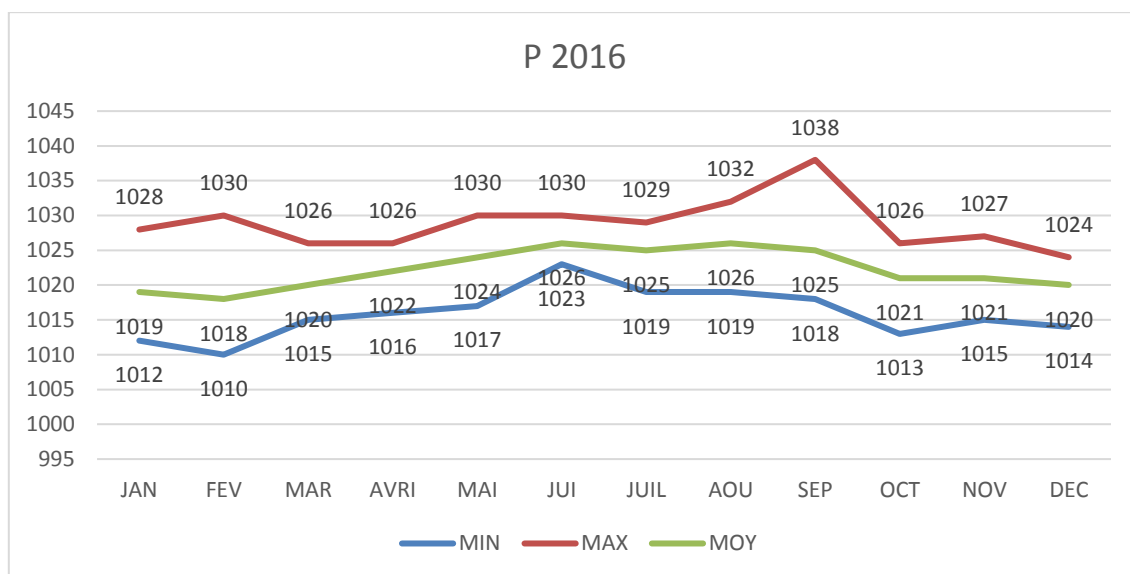
Graphe 36 : P 2013



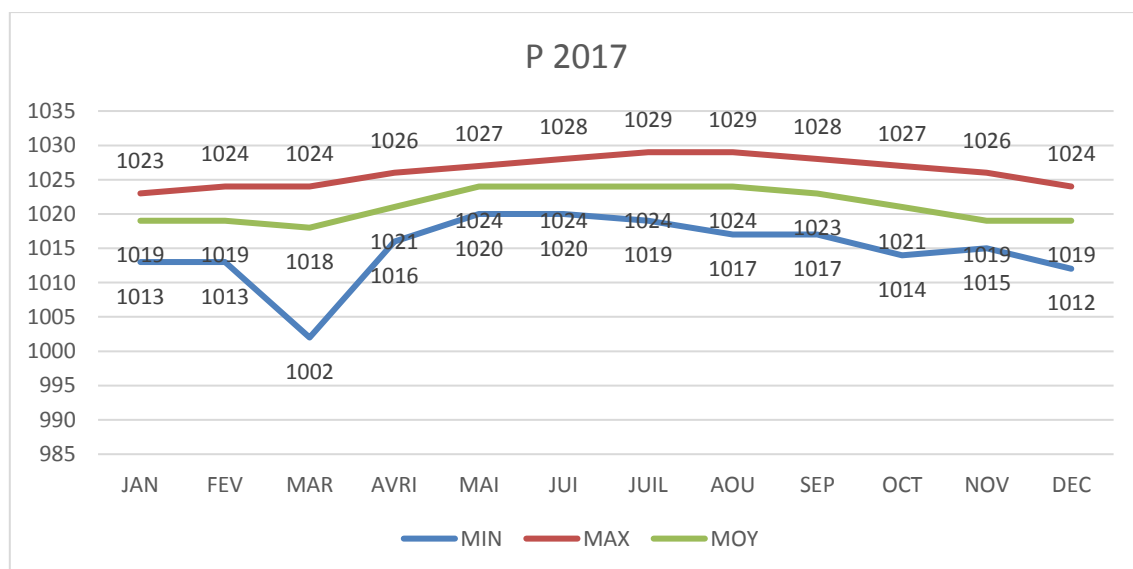
Graphe 37 : P 2014



Graphe 38 : P 2015



Grphe 39 : P 2016



Grphe 40 : P 2017

Interprétations de P :

2008 :

Les valeurs des MIN sont entre 1003 (FEV) – 1019 (JUIL=AOU) hPa. Alors, c'est en mois de **Février** qu'on avait la plus longue distance de décollage ou d'atterrissage et la diminution de la charge maximale de Boeing 747. Donc, c'est en ce mois qu'il y avait le plus de dépense en carburant pour cet aéronef (perte sur le carburant et la charge). A cette valeur MIN de FEV, on a utilisé la piste 29, le 17-18/02/08 à 20 : 00 - 00 :00 TU.

Puis, les valeurs des MOY sont entre 1017 (JAN, FEV) - 1025 (JUIL) hPa : Ainsi, **JAN, FEV** sont les plus pertes et **JUIL** est le plus avantageux des mois.

Ensuite, les valeurs des MAX entre 1022 (JAN, FEV) – 1024 (JUI) hPa. Donc, en **JAN, FEV** nous constatons les plus de **pertes** et **JUI** est le plus **avantageux** des mois. Par conséquence, la pression est toujours basse en saison d'été que celui d'hiver.

2009 :

Les valeurs des MIN sont entre 1008 (FEV) – 1019 (AOU) hPa. Alors, c'est en mois de **Février** qu'on avait la plus longue distance de décollage ou d'atterrissage et la diminution de la charge maximale de Boeing 747. Donc, c'est en ce mois qu'il y avait le plus de dépense en carburant de cet aéronef (perte sur le carburant et la charge). A ce valeur MIN de FEV, on a utilisé la piste 29 et le 07/02/09 à 14 : 30-15 TU.

Puis, les valeurs des MOY sont entre 1017 (JAN, FEV, MAR) - 1026 (JUIL) hPa : Ainsi, **JAN, FEV, MAR** sont les plus pertes et **JUIL** est le plus avantageux des mois.

Ensuite, les valeurs des MAX entre 1024 (JAN, FEV, DEC) – 1032 (JUIL) hPa. Donc, **JAN, FEV, DEC** sont les plus **pertes** et **JUIL** est le plus **avantageux** des mois. Par conséquence, la pression est toujours basse en saison d'été que celui d'hiver.

2010 :

Les valeurs des MIN sont entre 1002 (JAN) – 1021 (AOU) hPa. Alors, c'est en mois de **Janvier** qu'on avait la plus longue distance de décollage ou d'atterrissage et la diminution de la charge maximale de Boeing 747. Donc, c'est en ce mois qu'il y avait le plus de dépense en carburant de cet aéronef (perte sur le carburant et la charge). A ce valeur MIN de JAN, on a utilisé la piste 29, le 23/01/10 à 16 : 30 TU.

Puis, les valeurs des MOY sont entre 1018 (JAN, DEC) - 1025 (JUI, JUIL, AOU) hPa. Ainsi, **JAN, DEC** sont les plus **pertes** et **JUI, JUIL, AOU** sont les plus **avantageux** des mois.

Ensuite, les valeurs des MAX entre 1022 (DEC) – 1030 (JUIL) hPa. Donc, **DEC** est la plus **perte** et **JUIL** est le plus **avantageux** des mois. Par conséquence, la pression est toujours basse en saison d'été que celui d'hiver.

2011 :

Les valeurs des MIN sont entre 1005 (FEV) – 1018 (MAI, JUIL) hPa. Alors, c'est en mois de **Février** qu'on avait la plus longue distance de décollage ou d'atterrissage et la diminution de la charge maximale de Boeing 747. Donc, c'est en ce mois qu'il y avait le plus de dépense en carburant de cet aéronef (perte sur le carburant et la charge). A ce valeur MIN de FEV, on a utilisé la piste 11, le 18/02/11 à 13 : 00 TU.

Puis, les valeurs des MOY sont entre 1015 (FEV) - 1024 (SEP) hPa. Ainsi, **FEV** est la plus **perte** et **SEP** est le plus **avantageux** des mois.

Ensuite, les valeurs des MAX entre 1021 (JAN, FEV) – 1029 (JUIL- OCT) hPa. Donc, **JAN, FEV** sont les plus pertes et JUIL-OCT sont les plus avantageux des mois. Par conséquence, la pression est toujours basse en saison d'été que celui d'hiver.

2012 :

Les valeurs des MIN sont entre 1008 (FEV) – 1017 (MAI, JUIL) hPa. Alors, c'est en mois de **Février** qu'on avait la plus longue distance de décollage ou d'atterrissage et la diminution de la charge maximale de Boeing 747. Donc, c'est en ce mois qu'il y avait le plus de dépense en carburant de cet aéronef (perte sur le carburant et la charge). A ce valeur MIN de FEV, on a utilisé la piste 11, le 18/02/11 à 13 : 00 TU.

Puis, les valeurs des MOY sont entre 1017 (FEV) - 1025 (SEP) hPa. Ainsi, **FEV est** la plus perte et **SEP est** le plus avantageux des mois.

Ensuite, les valeurs des MAX entre 1021 (JAN) – 1029 (JUIL- OCT) hPa. Donc, **JAN** est la plus perte et JUIL-OCT sont les plus avantageux des mois. Par conséquence, la pression est toujours basse en saison d'été que celui d'hiver.

2013 :

Les valeurs des MIN sont entre 1007 (JAV) – 1021 (JUIL) hPa. Alors, c'est en mois de **Janvier** qu'on avait la plus longue distance de décollage ou d'atterrissage et la diminution de la charge maximale de Boeing 747. Donc, c'est en ce mois qu'il y avait le plus de dépense en carburant de cet aéronef (perte sur le carburant et la charge). A ce valeur MIN de JAN, on a utilisé la piste 29, le 01/01/13 à 14 : 00 TU.

Puis, les valeurs des MOY sont entre 1018 (FEV) - 1025 (AOU) hPa. Ainsi, **FEV est** la plus perte et **AOU est** le plus avantageux des mois.

Ensuite, les valeurs des MAX entre 1024 (JAN) – 1127 (MAI) hPa. Donc, **JAN** est la plus perte et MAI est le plus avantageux des mois. Par conséquence, la pression est toujours basse en saison d'été que celui d'hiver.

2014 :

Les valeurs des MIN sont entre 1009 (JAV, FEV) – 1021 (JUIL) hPa. Alors, c'est en mois de **Janvier, Février** qu'on avait la plus longue distance de décollage ou d'atterrissage et la diminution de la charge maximale de Boeing 747. Donc, c'est en ces mois qu'il y avait le plus de dépense en carburant de cet aéronef (perte sur le carburant et la charge). A ce valeur MIN de JAN, FEV, on a utilisé la piste 29, le 20/01/2014 à 19 : 00 TU et le 31/01/14 à 15 TU.

Puis, les valeurs des MOY sont entre 1017 (FEV) - 1027 (JUIL) hPa. Ainsi, **FEV est** la plus perte et **JUIL est** le plus avantageux des mois.

Ensuite, les valeurs des MAX entre 1024 (FEV) – 1123 (OCT) hPa. Donc, **FEV** est la plus perte et OCT est le plus avantageux des mois. Par conséquence, la pression est toujours basse en saison d'été que celui d'hiver.

2015 :

Les valeurs des MIN sont entre 1006 (JAN) – 1020 (JUIL, AOU) hPa. Alors, c'est en mois de **Janvier** qu'on avait la plus longue distance de décollage ou d'atterrissage et la diminution de la charge maximale de Boeing 747. Donc, c'est en ce mois qu'il y avait le plus de dépense en carburant de cet aéronef (perte sur le carburant et la charge). A ce valeur MIN de JAN, on a utilisé la piste 29, le 20/01/2014 à 19 : 00 TU et le 31/01/14 à 15 TU.

Puis, les valeurs des MOY sont entre 1017 (JAN) - 1026 (JUIL) hPa. Ainsi, **JAN** est la plus perte et **JUIL** est le plus avantageux des mois.

Ensuite, les valeurs des MAX entre 1023 (JAN, FEV) – 1034 (OCT) hPa. Donc, **JAN, FEV** sont les plus pertes et OCT est le plus avantageux des mois. Par conséquence, la pression est toujours basse en saison d'été que celui d'hiver.

2016 :

Les valeurs des MIN sont entre 1010 (FEV) – 1023 (JUI) hPa. Alors, c'est en mois de **Février** qu'on avait la plus longue distance de décollage ou d'atterrissage et la diminution de la charge maximale de Boeing 747. Donc, c'est en ce mois qu'il y avait le plus de dépense en carburant de cet aéronef (perte sur le carburant et la charge). A ce valeur MIN de FEV, on a utilisé la piste 11, le 09/02/2016 à 12 : 30 - 14 : 30 TU.

Puis, les valeurs des MOY sont entre 1018 (FEV) - 1026 (JUIL, AOU) hPa. Ainsi, **FEV** est la plus perte et **JUIL, AOU** sont les plus avantageux des mois.

Ensuite, les valeurs des MAX entre 1024 (DEC) – 1038 (SEP) hPa. Donc, **DEC** est le plus perte et SEP est le plus avantageux des mois. Par conséquence, la pression est toujours bas en saison d'été que celui d'hiver.

2017 :

Les valeurs des MIN sont entre 1002 (MAR) – 1020 (JUI) hPa. Alors, c'est en mois de **Mars** qu'on avait la plus longue distance de décollage ou d'atterrissage et la diminution de la charge maximale de Boeing 747. Donc, c'est en ce mois qu'il y avait le plus de dépense en carburant de cet aéronef (perte sur le carburant et la charge). A ce valeur MIN de MAR, on a utilisé la piste 29, le 09/03/2017 à 00 - 01 : 30 TU.

Puis, les valeurs des MOY sont entre 1018 (MAR) - 1024 (AOU) hPa. Ainsi, **MAR** est la plus perte et **AOU** est le plus avantageux des mois.

Ensuite, les valeurs des MAX entre 1023 (JAN) – 1029 (AOU) hPa. Donc, **JAN** est le plus perte et AOU est le plus avantageux des mois. Par conséquence, la pression est toujours bas en saison d'été que celui d'hiver.

CONCLUSION

La météorologie représente un secteur vital pour l'aéronautique. Le maintien de la sécurité des usagers, du survol et même de l'avion dépendent en une grosse partie de la situation météorologique aussi bien du lieu de décollage, du trajet que du lieu d'atterrissage. Le vent, la visibilité et la Pression sont des paramètres Météo qui ont des rôles importants en ce qui concerne l'aviation, d'où l'intérêt de cette étude afin de faciliter les phases de vol des aéronefs. Il suffit de bien maîtriser ces paramètres et leurs évolutions pour pouvoir comprendre les difficultés que rencontre un avion tout au long de son survol.

Les valeurs seuils représentent les valeurs qui favoriseraient le plus ces phases et pour laquelle les aéronefs surmonteraient le moins de problèmes pour ce qui concerne la météorologie. C'est par rapport à ces valeurs que nous avons pu établir les bilans concernant les études faites à l'aéroport d'Ivato pour ce qui concerne le Boeing 747 durant les années 2008-2017. Ces études nous ont montrés l'influence des paramètres météo sur le choix de piste, sur la longueur de distance de piste, sur la dépense de carburant et aussi sur la difficulté de survol de l'aéronef.

Sur ce, une étude plus profonde de ces paramètres tout au long du vol lui-même contribuera à la réduction des accidents et assurera la sécurité des aéronefs et leurs navigants.

BIBLIOGRAPHIES ET WEBOGRAPHIES

- [1] **Annexe 11** de l'OACI, Services de la circulation aérienne, version à jour des amendements n° 25, 20 et 7 de l'Annexe 6, 1^{re}, 2^e et 3^e Parties, Respectivement, 13^{ème} édition, Juillet 2001
- [2] Annexe 3 de l'OACI, Assistance météorologique à la navigation aérienne internationale, 18^{ème} édition, Juillet 2013
- [3] **<http://www.asecna.aero>**
- [4] Rapport de stage au sein de l'ASECNA du 22 Novembre au 22 Décembre 2018
- [5] COURS AERONAUTIQUE, 5^{ème} année, Monsieur RAZAFIELSON Durand Thènes
- [6] La forme symbolique FM-15-IX Ext. METAR et FM-15-IX Ext. METAR figurant dans la Publication n° 306 de l'OMM, Manuel des codes, Volume I.2, Partie A — Codes Alphanumériques.
- [7] **<http://www.ogimet.com>**
- [8] IVAOTM © SL 2011
- [9] Club Aéronautique
- [10] Google
- [11] Wikipédia
- [12] Enquête personnelle

ANNEXES

Annexe 1: Abréviations des mois

JAN : JANvier ; **FEV** : FEVrier ; **MAR** : MARs ; **AVR** : AVRil ; **JUI** : JUIn ; **JUIL** : JUILlet ;
AOU : AOUp ; **SEP** : SEPtembre ; **OCT** : OCTobre ; **NOV** : NOVembre ; **DEC** : DECembre

Annexe 2 : Formules générales des fonctions utilisées dans Excel

❖ En écriture littérale :

- Minimum=min (cellule de début : cellule de fin)
- Maximum=max (cellule de début : cellule de fin)
- Moyenne=arrondi (moyenne (cellule de début : cellule de fin) ; 0)
- Variance= arrondi (var (cellule de début : cellule de fin) ; 0)
- Ecart-type== arrondi (écart-type (cellule de début : cellule de fin) ; 0)

❖ En langage Excel :

Soient C_i : le nom de colonne du début de l'opération ;

n_i : le numéro du premier ligne de début de l'opération ;

n_j : le numéro du dernier ligne de la fin de l'opération

- Minimum= min ($C_i\$ n_i : C_i\$ n_j$)
- Maximum= max ($C_i\$ n_i : C_i\$ n_j$)
- Moyenne= arrondi (moyenne ($C_i\$ n_i : C_i\$ n_j$) ;0)
- Variance= arrondi (var ($C_i\$ n_i : C_i\$ n_j$) ;0)
- Ecart-type= arrondi (écart-type ($C_i\$ n_i : C_i\$ n_j$) ;0)
- Total= somme ($C_i n_i : C_i n_j$)
- Fréquence= $\$ C_i / \$ C_i \$ C_i n_{j+1}$

Annexe 3: Chemin de filtrage des MIN (P, VISI) et MAX (DDD)

→ Onglets donnés

→ Groupe filtré

→ Ouvrir la toupie à droite du nom de colonne à filtrer et sélectionner la valeur qu'on veut garder.

Annexe 4 : Composants des Tableaux et les codes couleurs de ses fonctions aux interprétations

Tous les tableaux se divisent en trois parties : **les fonctions**, abrégées en FON, avec leurs couleurs respectives : les MIN (minimums : rouge), les MAX (maximums : bleu), les MOY (moyennes : vert), les VAR (variances : orange), les E. TY (écart-types : jaune), et les FRE (fréquences : noir) ; **les mois** de Janvier-Décembre et **les totaux** des moyennes annuelles (TOT : violet).

Annexe 5 : Sources des photos, figures, tableaux et graphes

- Toutes les photos : Auteur
- Figure 1 : Auteur ; Figure 2-7 : **[5]** ; Figure 8 : **[6]**
- Tableaux 1 : [10] ; Tableau 2 : [5] ; Tableau 3-12 : [6] ; Tableau 13-105 : Auteur
- Tous les graphes : Auteur

Table des matières

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	i
LISTE DES ABREVIATIONS	ii
LISTE DES PHOTOS	iii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES GRAPHES	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES ANNEXES	vii
GLOSSAIRE	viii
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE :	2
GENERALITES	2
Chapitre I : LES PRINCIPAUX ACTEURS DE L’AERONAUTIQUE A MADAGASCAR	3
I.1 L’Aviation Civile Internationale (ACI) [1]	3
I.1.1 Historique et rôle de l’ACI	3
A. Historique de l’ACI	3
B. Rôle de l’ACI	4
I.1.2 Les différents services de l’ACI	4
A. Service du contrôle de la circulation aérienne	4
B. Le service d’information de vol	4
C. Le service d’alerte	5
I.2 L’Aviation Civile de Madagascar (ACM)	5
I.2.1 Historique	5
I.2.2 Département et responsabilités [10]	5
I.3 L’Assistance météorologique à la navigation aérienne [2]	6
I.3.1 Historique	6
I.3.2 Rôle et ses coopérateurs	6
I.4 L’ASECNA [3]	6
I.4.1 Historique, et principes	6
I.4.2 Les Services de l’ASECNA	7
I.4.3 Département Météorologie de l’ASECNA [3]	7
A. L’Unité de Qualification du Personnel	8

B. L'Unité Observation [4]	8
C. L'Unité Prévision et Protection :.....	14
I.5 Présentation de Zone d'étude : l'aéroport d'Ivato [11]	17
I.5.1 Situation géographique.....	17
I.5.2 Services responsables existants [12]	17
Chapitre II : LES OUTILS UTILISES DURANT L'ETUDE	18
II.1 Les paramètres utilisés et leurs importances pour l'aviation [5]	18
II.1.1 Influence sur le décollage.....	18
A. Le vent	18
B. L'importance de la pression atmosphérique	20
II.1.2 Influence sur l'atterrissage	21
A. Le vent	21
B. La pression	21
C. La visibilité	21
II.2 Les dangers pour le décollage ou l'atterrissage de l'avion	22
II.2.1. Le cisaillement de vent [5], [8].....	22
A. Définition	22
B. Les différents types de cisaillements	23
C. Les origines du cisaillement	24
II.2.2. La trouble à la visibilité :	24
II.2.3. La pression	25
II.3 Types d'avion utilisés pour l'étude	25
II.4 But de l'étude.....	26
DEUXIEME PARTIE : METHODOLOGIE	27
Chapitre I : DONNEES UTILISEES	28
I.1 Les Données METAR [6]	28
I.2 Forme symbolique [6]	29
I.2.1 Règle de la partie observation du message	29
A. Généralités :	29
B. Les différentes parties du message	30
I.2.2 La prévision de tendance.....	31
I.3 Critères d'établissement du "SPECI"	33
Chapitre II : DEMARCHES DE L'ETUDE	35
II.1 Logiciels utilisés	35

II.2 Traitement des données	35
II.2.1 Passage de sublime text à Excel (CF CD).....	35
II.2.2 Trillage de chaque paramètre avec Sublime text : (CF CD)	36
A-Le vent.....	36
B-La visibilité.....	36
C-La pression.....	37
II.2.3 Traitement des données dans Excel	37
A. Description d'Excel (CF CD).....	37
B. Les fonctions utilisées	37
C. Caractéristiques mathématiques de chaque fonction utilisée dans Excel (CF CD).....	38
D. Les formules d'obtention des valeurs de fonctions par année (CF CD)	38
TROISIEME PARTIE : RESULTATS, COMPARAISONS ET INTERPRETATIONS	39
Chapitre I : VALEUR SEUIL POUR CHAQUE PARAMETRE [5].....	40
Chapitre II : COMPARAISONS ET INTERPRETATIONS.....	41
II.1 Les directions du vent	41
II.2 Les forces du vent	47
II.3 Les visibilitées	53
II.4 Les pressions	59
CONCLUSION.....	67
BIBLIOGRAPHIES ET WEBOGRAPHIES	I
ANNEXES	II
Annexe 1: Abréviations des mois.....	II
Annexe 2 : Formules générales des fonctions utilisées dans Excel	II
Annexe 3: Chemin de filtrage des MIN (P, VISI) et MAX (DDD)	II
Annexe 4 : Composants des Tableaux et les codes couleurs de ses fonctions aux interprétations	II
Annexe 5 : Sources des photos, figures, tableaux et graphes	III

**Titre : « ETUDE DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES IMPORTANTES
TELQUE LE VENT, LA VISIBILITE ET LA PRESSION POUR
L'AVIATION A L'AERODROME D'IVATO. »**

Auteur : ANDRIAMAMPIONY Estela Martel

Nombre de pages : 67

Nombre de figures : 08

Nombres de photos : 17

Nombre de tableaux : 10

Nombre d'annexes : 05



RESUME :

Ce présent mémoire consiste à faire une étude des paramètres météorologiques importants pour l'aviation en se référant aux données de la station météorologique d'Ivato Antananarivo. Nous démontrons l'importance des paramètres vent, visibilité, pression et les conséquences de leur instabilité vis-à-vis des phases de survol d'un aéronef. Ici, le logiciel Sublime Text nous a permis de trier et de filtrer ces paramètres parmi les données brutes inscrit dans le message METAR ou SPECI, de 2008 à 2017 (10 ans). Des calculs des MIN, MAX, MOY, VAR, E-TY et FRE mensuelle et annuelle avec le tableur Excel ont été fait afin de comparer les valeurs par rapport à un valeur seuil qui représente une valeur favorable à la sécurité des phases d'atterrissage, de survol, de décollage et ainsi éviter toute forme d'accident.

Mots clés : aviation, aérodrome, aéronef, METAR/SPECI, prévision, vent, visibilité et pression.

ABSTRACT:

This present memory consists in making a survey of the important meteorological parameters for the aviation while referring to the data of the meteorological station of Antananarivo Ivato. We demonstrate the importance of parameters wind, visibility, pressure and the consequences of their instability opposite the phases of skimming of an airship. Here, the software Sublime Text allowed us to sort out and to filter these parameters among the raw data written down in the METAR message or SPECI, of 2008 to 2017 (10 years). Of the calculations of the MIN, MAX, MOY, VAR, E-TY and monthly and yearly FRE with the Excel calculator have been made in order to compare the values in relation to one value doorstep that represents a value favorable to the security of the landing phases, of skimming, of takeoff and so to avoid all shape of accident.

Key words: aviation, airfield, airship, METAR/SPECI, forecasting, wind, visibility and pressure.

DIRECTEUR DE MEMOIRE :

Mademoiselle ABRAHAM Michaëlla Nomena, Ingénieur en Météorologie et Enseignante à l'ENEAM

Contact : 0325838013

Email : ramichaella@gmail.com

Adresse de l'Auteur :

Lot 020 AC 0208 Cambil-Port Mahajanga I

+ 261329864673- andriamampioninamartel@gmail.com