



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah d'Ouargla

N° d'ordre

N° de série

Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière

Département de Physique

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER ACADEMIQUE

Spécialité: **Physique**

Option : **Physique météorologique**

Présentée par :

KAOUJJA Saida & BEN ATALLAH Manal

Thème

**Étude de la stabilité atmosphérique à partir des indices
de sondage et des diagrammes thermodynamiques.
Application sur quelques stations dans le territoire
algérien.**

Soutenu publiquement le 01/10/2020

Devant le jury composé de :

| | | |
|------------------------|--------------|-------------|
| Mr BENMEBROUK Lazhar | Président | MCA UKMO |
| Mr FEKIH Abdellali | Examineur | MCB UKMO |
| Mr NAKES Mohamed Tahar | Encadreur | MAA UKMO |
| Mr HEBBAL Belkhir | Co-encadreur | Cadre - ONM |

Année universitaire : 2019/2020

Dédicace

*Je dédie ce travail à Ma mère, mon père rabi yarhmo,
mes sœurs (Ourda, Sabah, Latifa, Keltoum, Nadjjet, et Kaouther)
mes frères (El Aid et son filles , Salim et son filles et Ismail) et toute ma
famille.*

*Tous mes proches et mes amis qui m'ont toujours encouragé au cours de la
réalisation de ce mémoire. Tous ceux et celles que j'ai rencontré et qui m'ont
aidé durant 5 ans des études universitaires.*

A mon amie BEN ATALLAH MANAL

A tous les étudiants de la promotion 2020 de la physique de la météorologie

À mon très beau paysl'Algérie

Merci à tous et à tous et à tous

Saida

Dédicace

Je dédie l'apanage de cet écrit :

*Aux plus chères à mon cœur et lumière de mon âme, mes parents,
que je profite pour Les remercier pour tout . Mon père et Ma mère
a toute ma famille (Abdelatif, Salma, Rachid, Zolikhha, Aissa,
Khaled, Kaltoum, Fatima, Fouad, Radhouan) et mon cher fiancé
(Rachid) et sa famille qui était patient avec moi durant la période
de préparation de ce travail. Elle a grandement contribué à
l'aboutissement de ce mémoire*

A mon amie KAOUIDJA SAIDA

*A toute et tous mes amis et les étudiants de la promotion 2020 de la
physique de la météorologie*

À mon très beau pays..... l'Algérie.

Maral



Remerciements

Nous remercions d'abord ALLAH de nous avoir donné le courage et la force ainsi que la volonté d'aboutir à la fin de notre modeste travail.

Nous adressons nos vifs remerciements et notre respect à notre encadreur Monsieur **NAKES Mohamed Tahar** pour nous avoir encadré et guidé par son savoir, ses conseils et sa compréhension toute au long de notre travail.

Nos remerciements vont aussi à l'encontre de notre Co-Encadreur Monsieur **HEBBAL Belkhir** qui nous a aidées à travers ses remarques pertinentes, sa disponibilité et surtout ses conseils judicieux.

Nous adressons notre considération à Monsieur **BENMEBROUK Lazhar**, pour avoir accepté de présider le jury.

Nous tenons à remercier Monsieur **FEKIH Abdellali**, pour nous avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.

Nos sincères remerciements à nos collègues de la promotion 2019/2020 / Master 2, Physique et Météorologie de l'Université KASDI Merbah Ouargla.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Enfin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Saida @ Manal

Table des matières

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| DEDICACE..... | I |
| REMERCIEMENTS..... | III |
| LISTE DES FIGURES..... | V |
| LISTE DES TABLEAUX..... | VII |
| LISTE DES ACRONYMES | X |
| INTRODUCTION GENERALE | ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED. |
| CHAPITRE I :MESURES DES PROFILS VERTICAUX DES PARAMETRES ATMOSPHERIQUES – SONDAGE | |
| I.1- INTRODUCTION | 4 |
| I.2-L'ATMOSPHERE TERRESTRE | 4 |
| <i>I.2.1- Structure vertical de l'atmosphère</i> | 5 |
| I.2.1.1- La troposphère..... | 5 |
| I.2.1.2- La stratosphère | 5 |
| I.2.1.3- La mésosphère..... | 5 |
| I.2.1.4-La thermosphère..... | 5 |
| I.3- MESURES EN ALTITUDE | 6 |
| <i>I.3.1-Définition de la radiosonde</i> | 7 |
| <i>I.3.2- L'invention de la radiosonde</i> | 7 |
| <i>I.3.3- Principe de mesure de la radiosonde</i> | 8 |
| I.4- PROCEDURES DE LACHER D'UN RADIOSONDAGE..... | 9 |
| <i>I.4.1. Gonflage du ballon</i> | 9 |
| <i>I.4.2- Méthodes de mesure</i> | 10 |
| <i>I.4.3- Système de réception et de traitement</i> | 11 |
| CHAPITRE II :LES DIAGRAMMES THERMODYNAMIQUES UTILISES EN METEOROLOGIE | |
| II.1- INTRODUCTION | 15 |
| II.2- LES DIAGRAMMES DE THERMODYNAMIQUES EN METEOROLOGIE | 15 |
| <i>II.2.1- Diagramme de Stüve</i> | 17 |
| II.2.1.1- Définition..... | 17 |
| II.2.1.2- Orientation des lignes fondamentales..... | 17 |
| <i>II.2.2 -Téphigramme</i> | 18 |
| II.2.2.1 -Définition..... | 18 |
| II.2.2.2- Orientation des lignes fondamentales..... | 19 |
| <i>II.2.3- Émagramme</i> | 21 |
| II.2.3.1- Emagramme original | 21 |
| II.2.3.2- Emagramme à 90 degrés | 23 |
| II.2.3.3- Emagramme à 45 degrés | 24 |
| <i>II.2.4- Emagramme 761</i> | 25 |
| II.2.4.1- Orientation des lignes fondamentales..... | 26 |
| <i>II.2.5 - Le Skew-T / -log p</i> | 27 |
| II.2.5.1- Orientation des lignes fondamentales..... | 28 |
| <i>II.2.6- Différence entre le diagramme Skew (T, -Log_nP) et l'émagramme 761</i> | 29 |
| CHAPITRE III: ÉTUDE DE LA STABILITE / INSTABILITE ATMOSPHERIQUE – INDICES DE STABILITE | |
| III.1- DEFINITIONS..... | 31 |
| <i>III.1.1 - Equilibre stable</i> | 31 |
| <i>III.1.2- Equilibre instable</i> | 31 |
| <i>III.1.3- Equilibre neutre</i> | 32 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| III.1.4- <i>Equilibre conditionnel</i> | 32 |
| III.2 - ACCELERATION VERTICAL D'UNE PARTICULE..... | 32 |
| III.3- STABILITE ET INSTABILITE D'UNE PARTICULE D'AIR DANS L'ATMOSPHERE | 33 |
| III.3.1- <i>Cas d'équilibre de l'air non saturé</i> | 34 |
| III.3.2 - <i>Cas d'équilibre de l'air saturé</i> | 36 |
| III.3.3- <i>Instabilité conditionnel (ou latente) d'une particule</i> | 38 |
| III.4 - PRINCIPAUX NIVEAUX POUVANT ETRE ATTEINTS PAR UNE PARTICULE D'AIR SOULEVEE ADIABATIQUEMENT | 39 |
| III.4.1- <i>Niveau de Condensation par Ascendance – NCA</i> | 39 |
| III.4.2- <i>Niveau de Condensation par Convection – NCC</i> | 39 |
| III.4.3- <i>Niveau de Convection Libre – NCL</i> | 39 |
| III.4.4- <i>Niveau d'Equilibre - NE</i> | 40 |
| III.5- INDICES DE STABILITE | 40 |
| III.5.1- <i>Indices de stabilité de Showalter - I_s (Showalter, 1953)</i> | 41 |
| III.5.2- <i>Indices de stabilité de Galway – I_A (1956)</i> | 41 |
| III.5.3- <i>Indices KI</i> | 43 |
| III.5.4- <i>L'indice total – total (Total Total Index – TTI)</i> | 43 |
| III.5.5 - <i>L'indice SWEAT</i> | 44 |
| III.5.5 - <i>Les indices CAPE et CINE</i> | 44 |
| CHAPITRE IV : ANALYSE DES MESURES DE SONDAGES - STATION DE BECHAR | |
| IV.1 - INTRODUCTION | 48 |
| IV.2 – PRESENTATION DES DONNEES CLIMATIQUES..... | 49 |
| IV.3 - LOCALISATION GEOGRAPHIQUE | 49 |
| IV.4 - REGIME DE PLUVIOSITE A BECHAR | 50 |
| IV.4.1 - <i>Régime mensuel</i> | 50 |
| IV.4.2 - <i>Régime saisonnier</i> | 51 |
| IV.4.2.1 - <i>Saison d'hiver</i> | 52 |
| IV.4.2.2 - <i>Saison de printemps</i> | 53 |
| IV.4.2.3 - <i>Saison d'été</i> | 53 |
| IV.4.2.4 - <i>Saison d'automne</i> | 54 |
| IV.4.5 - <i>Régime annuel des précipitations</i> | 55 |
| IV.4.6. <i>Indice Pluviométrique Standardisé (SPI)</i> | 55 |
| IV.5 - PRESENTATION DES DONNEES DE SONDAGE - BECHAR FIN SEPTEMBRE 2018 | 56 |
| IV.6 - ETUDE DE LA STABILITE ATMOSPHERIQUE - SITUATION DE FIN SEPTEMBRE 2018 A BECHAR..... | 57 |
| IV.7 TEST DE SENSIBILITE DES INDICES DE STABILITE | 61 |
| CONCLUSION GENERALE | ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED. |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 64 |
| ANNEXES | 65 |
| ABSTRACT | 65 |
| RESUME | 65 |
| ملخص | 65 |

Liste des figures

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURE (I.1): STRUCTURE DE L'ATMOSPHERE TERRESTRE | 6 |
| FIGURE (I.2) : RESEAU MONDIAL DES STATIONS RADIOSONDAGES. (SOURCE : ECMWF)..... | 8 |
| FIGURE (I.3): RADIOSONDE RS92-SGP VAISALA..... | 8 |
| FIGURE (1.4) : GONFLAGE, SERRAGE ET RABAT DU COL DU BALLON | 10 |
| FIGURE (1.5) : BALLON-SONDE | 11 |
| FIGURE (1.6) : SYSTEME DE RECEPTION..... | 12 |
| FIGURE (I.7) : POSTE DE SUIVI DE RADIOSONDE VAISALA | 13 |
| FIGURE (II.1) : DIAGRAMME DE STÜVE..... | 18 |
| FIGURE (II.2) : ISOBARES, ISOTHERMES ET ISOTROPES DANS UN TEPHIGRAMME..... | 19 |
| FIGURE (II.3) : TEPHIGRAMME. | 21 |
| FIGURE (II.4) : EMAGRAMME ORIGINALE..... | 22 |
| FIGURE (II.5) : EMAGRAMME A 90°..... | 24 |
| FIGURE (II.6) : EMAGRAMME A 45° | 24 |
| FIGURE (II.8) : EMAGRAMME 761 | 26 |
| FIGURE (II.9) : DIAGRAMME DE SKEW-T..... | 27 |
| FIGURE (II.10) : EMAGRAMME 761 ET SKEW-T. | 29 |
| FIGURE (III.1) : EQUILIBRE STABLE..... | 31 |
| FIGURE (III.2) : EQUILIBRE INSTABLE. | 31 |
| FIGURE (III.3) : EQUILIBRE NEUTRE OU INDIFFERENT. | 32 |
| FIGURE (III.4) : INSTABILITE CONDITIONNEL..... | 32 |
| FIGURE (III.5) : ACCELERATION VERTICAL D'UNE L'ATMOSPHERE..... | 33 |
| FIGURE (III.6) : EQUILIBRE EST STABLE. | 35 |
| FIGURE (III.7) : EQUILIBRE EST INSTABLE..... | 35 |
| FIGURE (III.8) : EQUILIBRE EST INDIFFERENT OU NEUTRE. | 36 |
| FIGURE (III.10): EQUILIBRE INSTABLE | 37 |
| FIGURE (III.11) : EQUILIBRE INDIFFERENT OU NEUTRE | 38 |
| FIGURE (III.12) : INSTABILITE CONDITIONNEL..... | 39 |
| FIGURE (III.13): DETERMINATION DU NCA, NCC, NCL, NE SUR L'EMAGRAMME 761..... | 40 |
| FIGURE (IV.1) : QUANTITE DE PLUIE ENREGISTREES LORS DE LA PERTURBATION ORAGEUSE, BECHAR LE 25, 26 ET 27 SEPTEMBRE 2018 | 48 |
| FIGURE (IV.2) : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE WILAYA DE BECHAR. | 50 |
| FIGURE (IV.3): REGIME MENSUEL DES PRECIPITATIONS A BECHAR (2008 – 2018) | 51 |
| FIGURE (IV.4) : REGIME SAISONNIER DES PRECIPITATIONS A BECHAR (2008 – 2018)..... | 52 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURE (IV.5): REGIME HIVERNAL DES PRECIPITATIONS A BECHAR (2008 – 2018). | 52 |
| FIGURE (IV.6): REGIME DES PRECIPITATIONS DE PRINTEMPS A BECHAR (2008 – 2018)..... | 53 |
| FIGURE (IV.7) : REGIME ESTIVAL DES PRECIPITATIONS A BECHAR (2008 – 2018)..... | 54 |
| FIGURE (IV.8) : REGIME DES PRECIPITATIONS D'AUTOMNE A BECHAR (2008 – 2018). | 54 |
| FIGURE (IV.9): REGIME ANNUEL DES PRECIPITATIONS A BECHAR (2008 – 2018). | 55 |
| FIGURE (IV.10) : L'INDICE PLUVIOMETRIQUE STANDARDISE SPI ANNUEL, BECHAR (2008 – 2018).... | 56 |
| FIGURE (IV.11) : DIAGRAMME SKEW_T, (A) – LE 25/09/2018, (B) – LE 26/09/2018 ET (C) – LE 27/09/2018, STATION DE BECHAR. | 57 |

Liste des tableaux

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLEAU (I.1) : COMPOSITION DE L'ATMOSPHERE | 4 |
| TABLEAU (III.1) : CRITERES DE STABILITE / INSTABILITE, SELON L'INDICE DE SHOWALTER. | 41 |
| TABLEAU (III.2): CRITERES DE STABILITE / INSTABILITE, SELON L'INDICE DE GALWAY. | 42 |
| TABLEAU (III.3) : PROBABILITES DE DEVELOPPEMENT D'ORAGES DANS LES MASSES D'AIR, SELON L'INDICE KI | 43 |
| TABLEAU (III.4) : CRITERES DE PROBABILITE D'ORAGES, SELON L'INDICE TTI..... | 43 |
| TABLEAU (III.5): CRITERES D'ORAGES, SELON L'INDICE SWEAT. | 44 |
| TABLEAU(III.6): CRITERES DE MANIFESTATIONS D'ORAGES EN UTILISANT LA CAPE. | 46 |
| TABLEAU (IV.1) : INDICES DE STABILITE ATMOSPHERIQUES, BECHAR JOURNEE DE 25/09/2018. | 58 |
| TABLEAU (IV.2) : INDICE DE STABILITE, BECHAR JOURNEE DE 26/09/2018. | 59 |
| TABLEAU (IV.3): INDICE DE STABILITE, BECHAR JOURNEE DE 27/09/2018..... | 60 |
| TABLEAU (IV.4): INDICE DE STABILITE, BECHAR JOURNEE DE 01/10/2018..... | 61 |
| TABLEAU (IV.5) : TEST DE SENSIBILITE DES INDICES DE STABILITE | 61 |

LISTE DES ACRONYMES

| | |
|--------------|------------------------------------------------------|
| CAPE | : Convective Available Potential Energy |
| CAF | : Contrôle Automatique de Fréquence |
| CINE | : Convective Inhibition Energie |
| ECMWF | : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts |
| GPS | :Global Positioning System |
| KI | : K Index |
| NCA | : Niveau de Condensation par Ascendance |
| NCC | : Niveau de Condensation par Convection |
| NCL | : Niveau de Convection Libre |
| NE | : Niveau d'Equilibre |
| OMM | : Organisation Météorologique Mondiale |
| ONM | : Office National de la Météorologie |
| SPI | : Standardized Precipitation Index |
| TTI | : Total Total Index |

Introduction générale

Introduction générale

L'étude de la stabilité atmosphérique à l'aide de l'analyse des données de sondage représentés sur les diagrammes thermodynamiques, tel que l'émagramme 761 ou de Skew_T, s'inscrit dans le domaine de la prévisibilité à court terme de la formation des nuages (de type stratiforme ou cumuliforme) à l'échelle synoptique et mizo-échelle. Plusieurs indices de stabilité atmosphérique sont proposés dans la littérature scientifique telle que celui de Showalter, de SWEAT, de Total-Total, le CAPE et le CINE, etc. Les mesures de sondage nécessaires sont disponibles pour quelques stations météorologiques à travers le territoire algérien tel que (Béchar, Tindouf, In Salah et Tamanrasset), dont ils étaient censées être l'objet de notre étude, mais vue les conditions sanitaires non favorable au niveau national et mondial à cause de virus Covid-19, l'étude à était limitée au site de Béchar (Région Sud-ouest de L'Algérie).

L'objectif de cette étude était de tester l'applicabilité des indices de stabilité atmosphérique pour deux situations différentes :orageuse et stable. En suite d'en déduire le plus sensible parmi eux aux différentes états atmosphériques.

L'étude de stabilité atmosphérique au cours de la période de fin Septembre et début Octobre 2018, au moyen des indices de stabilité (l'indice Total – Total (TTI), l'indice KI, l'indice de Showalter, l'indice SWEAT et le l'indice CAPE) avait montrée qu'il y a une disparité entre les constations de ces indices pour la même situation. L'étude de sensibilité menée avait conclus que les indice TTI et KI ont une sensibilité « fort » en vers les différentes situations atmosphériques par rapport aux autres indices.

Ce manuscrit est composé, en plus d'une introduction et conclusion générale, de quatre chapitres :

Chapitre I, à était consacré à la description des ballons de mesures et les profiles verticaux des paramètres atmosphériques, communément nommé sous le nom de sondage.

Chapitre II, était réservé à la description des diagrammes thermodynamiques utilisés en météorologie.

Chapitre III, est une simple étude de la stabilité / instabilité atmosphérique, ainsi une présentation des principaux indices de stabilité.

Introduction générale

Chapitre IV, c'est la partie analyse et discussion concernant l'applicabilité des indices de stabilité atmosphérique sur le site Béchar.

CHAPITRE I

MESURES DES PROFILS VERTICAUX DES PARAMETRES ATMOSPHERIQUES – SONDAGE

I.1- Introduction

La connaissance et la compréhension du système atmosphérique dépendent de la qualité et de la quantité des observations disponibles. Ces observations peuvent être effectuées par des appareils basés au sol ou à bord de satellites par des techniques de télédétection. Elles sont réalisées à la fois dans un cadre opérationnel pour le développement des modèles météorologiques ou dans un cadre de recherche scientifique avec l'objectif d'améliorer la connaissance de l'atmosphère [2].

Pour établir des prévisions météorologiques, les spécialistes ont besoin de connaître l'état de l'atmosphère au jour le jour. Les mesures effectuées au niveau du sol ne suffisent pas, il est nécessaire de connaître la température de l'air, l'humidité relative ainsi que la direction et la force du vent à tous les niveaux compris entre la surface du sol et une altitude d'environ 16000 m correspondant à la limite conventionnelle de 100 hPa pour englober à coup sûr la totalité de la troposphère [3]. Nous présentons dans ce chapitre les différents moyens d'observations en altitude utilisés en météorologie ainsi que leurs principes de mesure.

I.2-L'atmosphère terrestre

L'atmosphère terrestre est l'enveloppe gazeuse entourant la Terre. L'air sec se compose de 78,08 % de diazote, 20,95 % de dioxygène, 0,93 % d'argon, 0,0395 % de dioxyde de carbone et des traces d'autres gaz comme l'ozone par exemple. C'est grâce à la présence de l'atmosphère que la vie a été rendue possible sur la surface de la Terre [1], voir Tableau (I.1).

Tableau (I.1) : Composition de l'atmosphère.

| Gaz constituants de l'air sec | Pourcentages en volume |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Azote (N ₂) | 78,09 |
| Dioxygène (O ₂) | 20,95 |
| Argon (A) | 0,93 |
| Dioxyde de carbone (CO ₂) | 0,035 |
| Néon (Ne) | 1,8 10 ⁻³ |
| Hélium (He) | 5,24 10 ⁻⁴ |
| Krypton (Kr) | 1,0 10 ⁻⁴ |
| Hydrogène (H ₂) | 5,0 10 ⁻⁵ |
| Xénon (Xe) | 8,0 10 ⁻⁶ |
| Ozone (O ₃) | 1,0 10 ⁻⁶ |
| Radon (Rn) | 6.0 10 ⁻¹⁸ |

I.2.1- Structure vertical de l'atmosphère

L'atmosphère est divisée en plusieurs couches d'importances variables, leurs limites ayant été fixées selon les discontinuités dans les variations de la température en fonction de l'altitude. On distingue à partir de la surface quatre couches la troposphère, la stratosphère, la mésosphère et la thermosphère, voir Figure (I.1).

I.2.1.1- La troposphère

La troposphère est la couche partant de la surface jusqu'à environ 7–16 km d'altitude, sachant que le sommet de cette couche varie entre 13 et 16 km à l'équateur, mais entre 7 et 8 km aux pôles, avec des variations dues aux conditions climatiques. Elle est définie par son gradient de température qui décroît avec l'altitude. Également, la troposphère contient 80 à 90 % de la masse totale de l'air et la quasi-totalité de la vapeur d'eau. C'est dans cette couche que se produisent les phénomènes météorologiques tels que les nuages, la pluie, etc. et les mouvements atmosphériques horizontaux et verticaux induits par la convection thermique et les vents [1].

I.2.1.2- La stratosphère

Dans cette couche la température, cette fois-ci, croît avec l'altitude jusqu'à 0°C. La stratosphère s'étend de 8–15 km d'altitude jusqu'à environ 50 km d'altitude et contient à peu près 90 % de la couche d'ozone.

I.2.1.3- La mésosphère

Dans cette couche la température décroît avec l'altitude (de 50 à 80 km d'altitude) jusqu'à -80 °C. Elle est considérée comme étant une zone de transition entre la Terre et l'espace. En y pénétrant, pour descendre sur Terre, les météorites, satellites, etc. s'échauffent contre les quelques particules d'air qu'ils rencontrent et sont détruits avant d'atteindre le sol, sauf pour les plus grosses pièces. Les vaisseaux habités, navettes spatiales, capsules Soyuz, doivent être protégés pour pouvoir passer cette couche qui va les freiner pour atteindre le sol en douceur.

I.2.1.4-La thermosphère

La thermosphère, juste au-dessous de l'exosphère, est une couche où la température croît avec l'altitude (de 80 à 350–800 km d'altitude). Dans cette couche (et dans l'exosphère), contrairement aux couches inférieures, la composition de l'air n'est plus uniforme, le brassage de l'air n'étant plus suffisant pour maintenir la distribution de mélange.

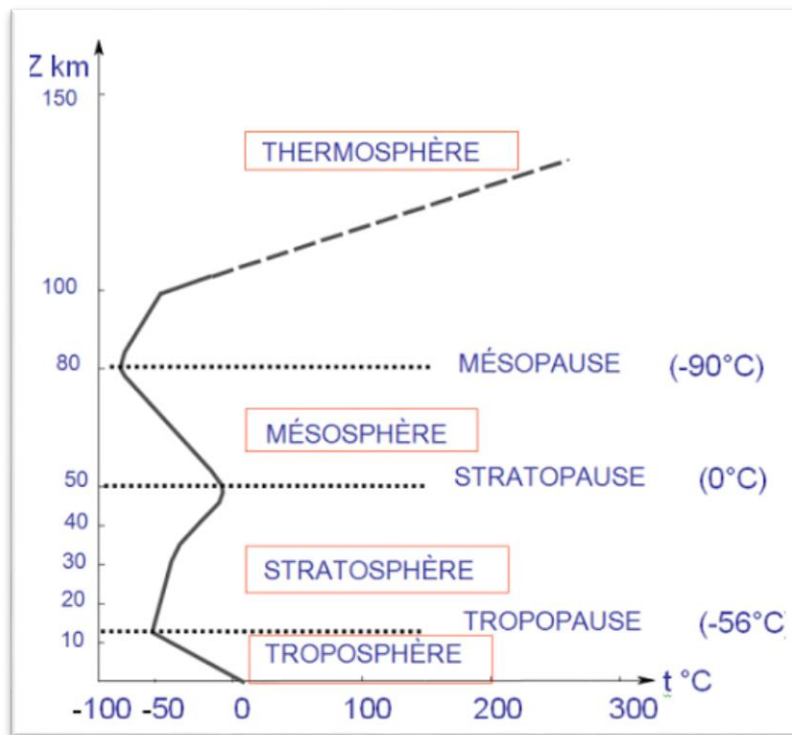


Figure (I.1): Structure de l'atmosphère terrestre.

I.3- Mesures en altitude

Pour les besoins de la météorologie opérationnelle, l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) coordonne le développement du système mondial d'observation en altitude regroupant l'ensemble des observations utilisées pour la calibration des modèles météorologiques globaux. Ce réseau est composé d'appareils mesurant les différentes propriétés physiques de l'atmosphère telles que la température, la pression, la vitesse et la direction des vents, la composition chimique ou encore l'humidité de l'air. L'ensemble des services météorologiques nationaux participe à la collecte des observations, la mise en forme des données, la qualité et les horaires de mesures devant respecter les spécifications de l'OMM. Ce réseau d'observation en altitude est divisé en plusieurs composantes :

- Les observations par radiosondages permettent d'obtenir des mesures en altitude via le lancement de ballons sondes mesurant la température, les vents et l'humidité de l'air jusqu'à des altitudes pouvant atteindre 30 km ;

- Les observations aériennes réalisées par des instruments de mesures à bord d'environ 3000 avions de ligne fournissent des données sur la pression, la température et les vents ;
- Les observations satellitaires provenant de satellites en orbite géostationnaire ou polaire permettent d'obtenir des profils verticaux de propriétés atmosphériques telles que la température, l'humidité et la vitesse des vents [2] .

I.3.1-Définition de la radiosonde

La radiosonde ou simplement "RS" voire "sonde" est un instrument destiné à être emporté par ballon dans l'atmosphère, muni de dispositifs pour mesurer une ou plusieurs variables météorologiques (pression, température, humidité, etc.) et pourvu d'un émetteur radioélectrique qui transmet ces renseignements à la station d'observation [4].

I.3.2- L'invention de la radiosonde

La radiosonde a été inventée par le physicien et météorologue français Robert Bureau en 1929. Cette invention a permis de révolutionner les méthodes d'étude de l'atmosphère, mais la révolution pour la météorologie a été l'établissement d'un réseau d'observation en altitude qui couvre la Terre entière et d'un système de communication qui permet de transmettre rapidement les observations recueillies vers les centres de prévision de tous les pays. L'implantation de ce réseau d'observation a été longue à réaliser et l'on n'a pu vraiment commencer à parler de réseau qu'après la seconde guerre mondiale [5], voir Figure (I.2).

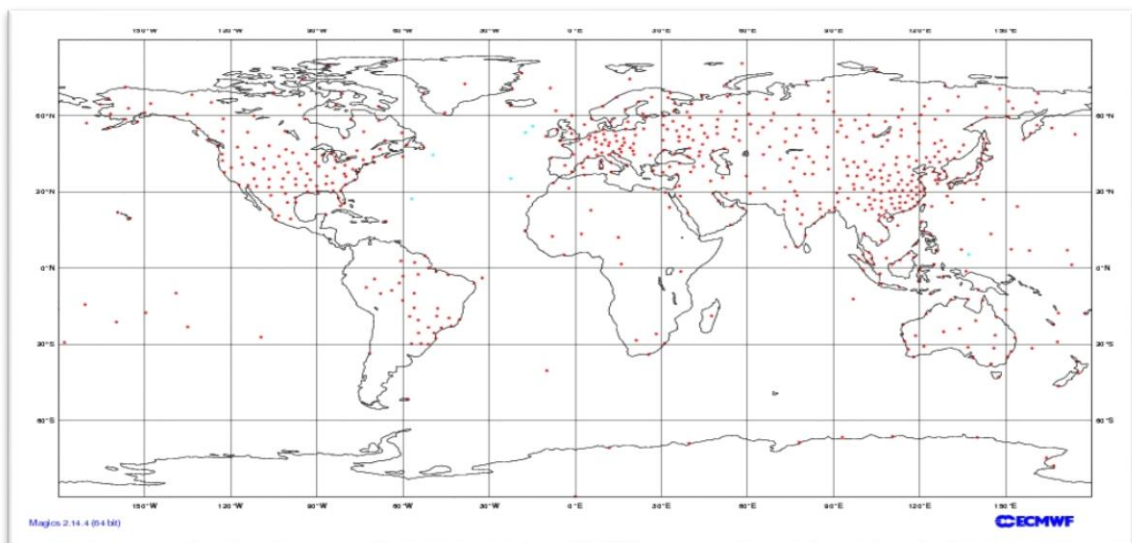


Figure (I.2) : Réseau mondial des stations radiosondages.(Source : ECMWF)

I.3.3- Principe de mesure de la radiosonde

Entraînée par un ballon en latex gonflé à l'hélium ou à l'hydrogène, la radiosonde permet la mesure de trois paramètres : pression, température et humidité, entre le sol et une altitude de 30 km ; elle est transmise par radio vers une station de réception.

Les mesures de température et humidité sont utilisées en tant que telles. Elles sont positionnées grâce à la pression. Elles servent aussi au calcul du géopotentielle qui représente l'altitude « fictive » déterminée à partir des équations de l'hydrostatique.

L'altitude géopotentielle est calculée à partir des profils de température et humidité en fonction de la pression, en considérant une valeur unique de la pesanteur terrestre (au lieu de la valeur réelle). L'altitude géopotentielle est ainsi comparable en tout point du globe ; elle est quand même très proche de l'altitude réelle.

Une mesure du profil température/humidité effectuée par une radiosonde est toujours accompagnée de la mesure du profil du vent. Le ballon utilisé pour le sondage a une vitesse ascensionnelle typique de 300 m/min qui conduit donc à une durée de radiosondage comprise entre 1 h 30 et 2 h. Des fréquences radioélectriques sont réservées aux radiosondes : 403 à 406 MHz et 1680 MHz [7], voir un exemple d'une radiosonde Figure (I.3).

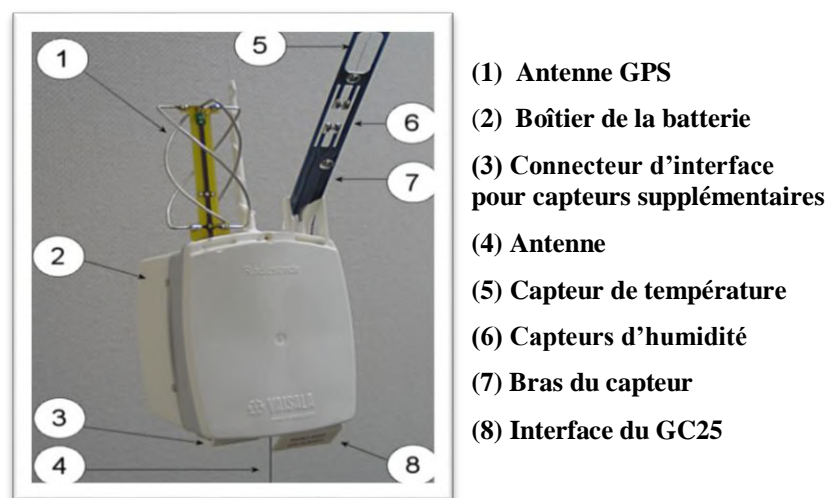


Figure (I.3): Radiosonde RS92-SGP VAISALA

La radiosonde utilisée est en général est équipé de :

- Récepteur GPS pour la mesure du vent ;
- Capteur de pression en silicone ;
- Double capteur d'humidité chauffé ;
- Petit capteur rapide de température.

Certaines radiosondes peuvent être complétées par des capteurs spécifiques utilisés à des fins de surveillance de l'atmosphère :

- Capteur de mesure de l'ozone ;
- Capteur de mesure de la radioactivité.

I.4- Procédures de lâcher d'un radiosondage

La procédure à suivre pour réaliser un sondage est la suivante :

I.4.1. Gonflage du ballon

Une dizaine de minutes avant l'heure du lâcher, le technicien emporte la radiosonde, son parachute et l'enveloppe en latex du ballon dans le local de gonflage. C'est un abri qui son protège le ballon du vent pour qu'il ne soit pas arraché au tuyau gonflage ou rabattu contre le sol (abri qui protège aussi l'opérateur des intempéries, bien sûr). De plus en plus sont utilisés des appareils automatiques qui peuvent gonfler et lâcher automatiquement une radiosonde à une heure précise. Le ballon est gonflé à l'hélium (ou à l'hydrogène) de façon à pouvoir soulever une certaine masse, ce qui déterminera à la fois la vitesse de montée et l'altitude d'éclatement. Toute précaution doit être prise pour que l'enveloppe gonflé ne touche ni le sol ni un quelconque objet (mur, opérateur, brindille...) qui l'affaiblirait ou la ferait éclater prématurément. Le ballon a un diamètre de 2 mètres environ au moment du décollage.

Pour les sondes Modem, VAISALA, la ficelle qui relie le boîtier de la sonde au parachute est généralement bobinée sur un dérouleur. Ce n'est qu'à quelques centaines de mètres d'altitude que la ficelle est entièrement dérouleur. Le technicien (ou le lanceur automatique) n'est pas encombré par la ficelle qui pourrait s'emmêler ou accrocher un arbre ou un bâtiment, voir Figure (I.4).



Figure (1.4) : Gonflage, serrage et rabat du col du ballon

I.4.2- Méthodes de mesure

La technique du radiosondage consiste à lâcher dans l'atmosphère un ballon, gonflé par un gaz plus léger que l'air (hydrogène ou hélium), dont la vitesse ascensionnelle moyenne est comprise entre 4 et 8 m/s. Sous le ballon est fixée une sonde constituée de capteurs de pression (P), de température (T), d'humidité (U) et de vent (V), capteurs dont les mesures sont transmises au sol par modulation d'une onde électromagnétique porteuse du domaine radio (vers 400MHz), d'où le nom de radiosonde. Un système dérouleur doit accompagner la radiosonde de manière à lui permettre de s'écarter du ballon juste après la lâcher. La longueur, après déroulement de l'attelage entre le ballon et la sonde doit au minimum de 25 mètres. L'équipage ballon-sonde est complété par un parachute intercalé qui permet à la sonde (poids 400 g) de retomber lentement, après éclatement du ballon, dans des conditions de sécurité vis-à-vis d'une personne susceptible de se trouver malencontreusement à son point de chute. Les ballons peuvent également représenter un certain danger pour les avions de ligne (hublot, réacteur...). Il faut néanmoins noter que ce type d'incident est rare et, jusqu'à présent, sans gravité.

Les mesures P, T et U, s'effectuent généralement au moyen de capteurs électroniques de type capacitif. Mais, dans certaines sondes, la température est mesurée par thermistance. Les mesures sont ensuite traitées un convertisseur tension-fréquence avant leur transmission au sol. La qualité météorologique des sondes, en ce qui concerne la pression et la température, est en général conforme aux spécifications. Cependant, pour toutes les sondes, la mesure de température est entachée d'erreur aux hautes altitudes (au-dessus de 10 km) à cause de l'effet de rayonnement ; des

corrections sont données par les constructeurs et sont constamment réévaluées. L'humidité reste la mesure la plus difficile, car des écarts de l'ordre de 10% peuvent être notés entre sondes. De plus, le passage de la sonde au travers d'un nuage peut donner lieu à une surestimation de l'humidité dans la zone claire située juste au-dessus; cette surestimation reste néanmoins de courte durée (constante de temps inférieur à 2 s).

La détermination du vent horizontal (en vitesse et en direction) est un élément important du radiosondage, qui s'effectue au moyen de localisations successives du ballon, en faisant l'hypothèse que le ballon se déplace à la vitesse du vent. En réalité, les ballons traditionnels sont animés de mouvements parasites de grande amplitude qui faussent la mesure [6], voir Figure (I.5).

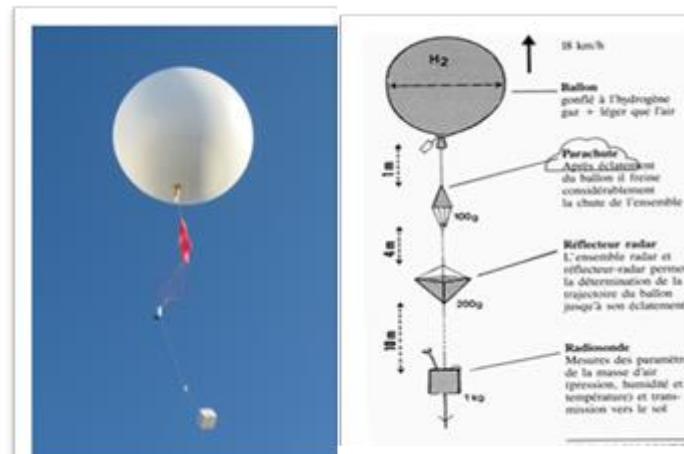


Figure (I.5) : Ballon-sonde

I.4.3- Système de réception et de traitement

Un système de réception est composé des équipements suivants :

- Récepteur radio et son antenne directive ou omnidirectionnelle ;
- Décodeur (récepteur et démodulateur) des informations brutes reçues de la sonde ; le décodeur calcule les paramètres pression, température, humidité à l'aide des coefficients d'étalonnage ;
- Calculateur de traitement des informations et d'élaboration des messages TEMP (Température) ou PILOT (Vent en altitude) normalisés par l'OMM ;
- Système de réception vent (radio-théodolite ou radar)

Les données brutes fournies par la radiosonde toutes les secondes sont filtrées et compactées grâce à un logiciel spécifique. Outre le filtrage, le logiciel visualise sur écran les profils mesurés, informe l'opérateur du bon déroulement du sondage. Le système est interactif, de façon à autoriser la supervision du radio sondeur ainsi que son intervention en cas de données erronées [7], voir Figure (I.6).

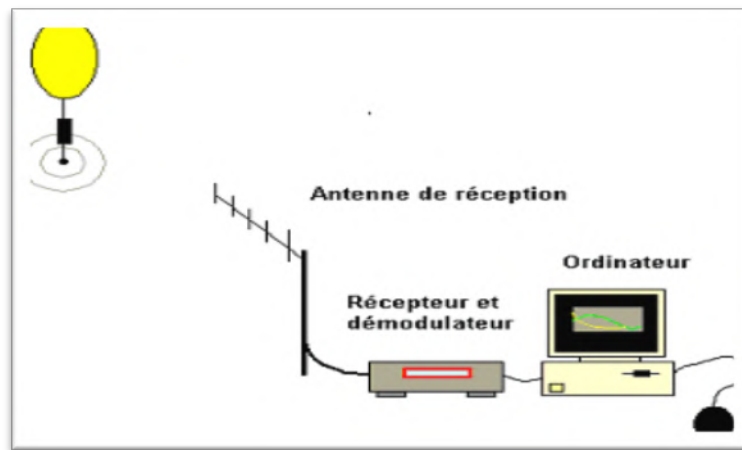


Figure (I.6) : Système de réception

L'enregistrement des données est automatique, le récepteur possède un système de contrôle automatique de fréquence (CAF) qui corrige la dérive de la fréquence de la radiosonde si son oscillateur est à fréquence libre. C'est la mesure de la pression qui permet de repérer le moment d'éclatement du ballon, lorsque celle-ci, après avoir cessé de baisser, se remet à augmenter. Pour les radiosondes équipées de récepteurs GPS, c'est bien sûr la diminution d'altitude qui est déterminante. Les mesures sont alors interrompues, la phase de descente ne présentant pas d'intérêt pour le radiosondage. En fait les mesures les plus importantes sont celles qui concernent la troposphère, partie de l'atmosphère située en dessous de 12000 ou 13000 mètres; par convention, c'est l'altitude de 16000 m, qui correspond à peu près à la pression de 100 hPa, qui sert de référence. La Figure (I.6) montre un poste de suivi de radiosonde VAISALA :

- A droite les ordinateurs permettant l'affichage des données reçues et l'étalonnage de la sonde avant le vol.
- A gauche la station radio de réception (Rx) et de décodage de la télémessure (D).
- Le récepteur LORAN-C utilisé pour la localisation en vol est dans le track du haut (L).

La radiosonde qui va être lâchée est encore sur le banc d'étalonnage (G), sa pile (P) est prête à être hydratée. [2], voir Figure (I.7).



Figure (I.7) : Poste de suivi de radiosonde VAISALA

CHAPITRE II
LES DIAGRAMMES
THERMODYNAMIQUES UTILISES EN
METEOROLOGIE

II.1- Introduction

En météorologie les diagrammes thermodynamiques permettent d'avoir une idée de l'état d'une masse d'air, en donnant la distribution vertical des principales grandeurs physiques qui la caractérisent, à savoir, la pression atmosphérique, la température, la vitesse et la direction du vent, et enfin l'humidité : ces cinq grandeurs, déterminent les facteurs de stabilité ou d'instabilité des couches atmosphériques successives, leurs éventuels mouvements horizontaux et verticaux ainsi que les possibilités d'évaporation, de condensation ou de précipitation qui en résultent. Le diagramme en lui-même reste centré sur les deux principales variables décrivant les mouvements verticaux, à savoir: pression et température [11]. Suivant les pays, ces diagrammes sont légèrement différents, on trouve le téphigramme, le Skew-T et l'émagramme 761 où la température est présentée par des lignes inclinées de 45° par rapport à l'axe vertical. Ces diagrammes sont en général remplis par les données de radiosondages qui sont effectués, en général à 00h et 12h TU.

II.2- Les diagrammes de thermodynamiques en météorologie

Les diagrammes thermodynamiques sont utilisés pour donner une visualisation graphique de la majorité des transformations que l'air peut subir (isobares; isothermes; pseudo-adiabatiques). Bien qu'aujourd'hui, ces transformations puissent être traitées numériquement, les diagrammes thermodynamiques restent irremplaçables pour comprendre la structure vertical de l'atmosphère et montrer comment celle-ci est liée à la formation des nuages, ainsi qu'à l'évolution des processus conduisant à la formation des précipitations [8].

Un diagramme thermodynamique devrait posséder les quatre propriétés importantes suivantes :

- a) L'aire délimitée par les lignes représentant un processus cyclique quelconque doit être proportionnelle à la modification d'énergie ou au travail effectué ;
- b) Le plus possible de lignes représentant les transformations de base doivent être des lignes droites ;
- c) L'angle entre les isothermes et les adiabatiques sèches doit être aussi grand que possible ;
- d) Dans l'atmosphère inférieure, les adiabatiques sèches doivent faire un angle appréciable avec les adiabatiques de saturation ;

On pourrait penser à utiliser un diagramme (P, V) ou (P, α) . En effet, le travail élémentaire d'un gaz de masse unité étant défini par :

$$dW = -P \times d\alpha \quad (\text{II.1})$$

Le travail effectué par ce gaz au cours d'un cycle (ou d'une transformation fermée) est donné par :

$$W = - \int P \times d\alpha = \int Y \times dX \quad (\text{II.2})$$

En prenant des coordonnées X et Y proportionnelles à α et P , respectivement. Donc, dans un diagramme (P, α) , le travail est bien proportionnel à la surface délimitée par la courbe fermée représentée sur ce diagramme, et la propriété (a) ci-dessus est satisfaite. Cependant, les variables V ou α n'étant pas mesurables, on préfère, en météorologie, utiliser les variables P et T parce qu'elles sont l'objet de mesures physiques direct. Mais, nous ne pouvons pas utiliser P et T d'une manière arbitraire et espérer que la surface sera proportionnelle au travail. [8]

Soient X et Y l'abscisse et l'ordonnée respectivement d'un système d'axe, et supposons que X et Y soient toutes les deux fonctions des variables météorologiques. Pour qu'une surface soit égale au travail dans une transformation cyclique, il faut que l'on ait :

$$- \int P \times d\alpha = \int Y \times dX \quad (\text{II.3})$$

Où :

$$\int (P \times d\alpha + Y \times dX) = 0 \quad (\text{II.4})$$

La quantité $\int (P \times d\alpha + Y \times dX)$ est une différentielle exacte. Donc, d'après la relation de réciprocity d'Euler, on peut écrire :

$$\left(\frac{\partial P}{\partial X}\right)_\alpha = \left(\frac{\partial Y}{\partial \alpha}\right)_X \quad (\text{II.5})$$

Nous pouvons donc choisir n'importe quelles valeurs de X et Y et, pourvu qu'elles obéissent à la relation ci-dessus, l'aire sera proportionnelle au travail dans notre diagramme.

Les diagrammes fréquemment utilisés sont les suivants :

- Le diagramme de Stüve $(T, -P^{R/c_p})$;
- Le téphigramme $(T, \log_n \theta)$, ce diagramme, présenté par Napier Shaw, est basé sur la relation entre la température potentielle θ et l'entropie massique (s), donné par l'équation :

$$ds = c_p \times d \log_n \theta \quad (\text{II.6})$$

Il a utilisé le symbole ϕ (*Phi*) pour l'entropie, et c'est pour cette raison que ce diagramme est appelé diagramme (T, ϕ), ou en abrégé téphigramme ;

- L'émagramme ($T, -\log_n P$), qui tire son nom de l'abréviation de "diagramme d'énergie par masse unité", [8].

II.2.1- Diagramme de Stüve

II.2.1.1- Définition

Le diagramme de Stüve a été développé vers 1927 par George Stüve (1888-1935) et fut rapidement accepté aux Etats-Unis grâce à sa simplicité d'affichage. En effet, il a utilisé des lignes droites pour ses trois principales variables : la pression et température et la température potentielle. Les axes coordonnés ont ainsi pour coordonnées cartésiennes, voir l'équation (II.8) : la température (T), p , k ou P est la pression et $k = R/c_p$ est 0.2857 (R étant la constante des gaz pour l'air sec pur et c_p la chaleur massique de l'air à pression constante [9]).

II.2.1.2-Orientation des lignes fondamentales

Dans le diagramme de Stüve :

- Les isothermes sont verticales ;
- Les isobares sont horizontales ;
- Les lignes adiabatiques sèches sont 45° vers la droite ;
- Les lignes pseudo-adiabatiques d'air saturé sont courbes ;
- Les lignes de rapport de mélange sont également généralement indiquées, voir Figure (II.1), [9].

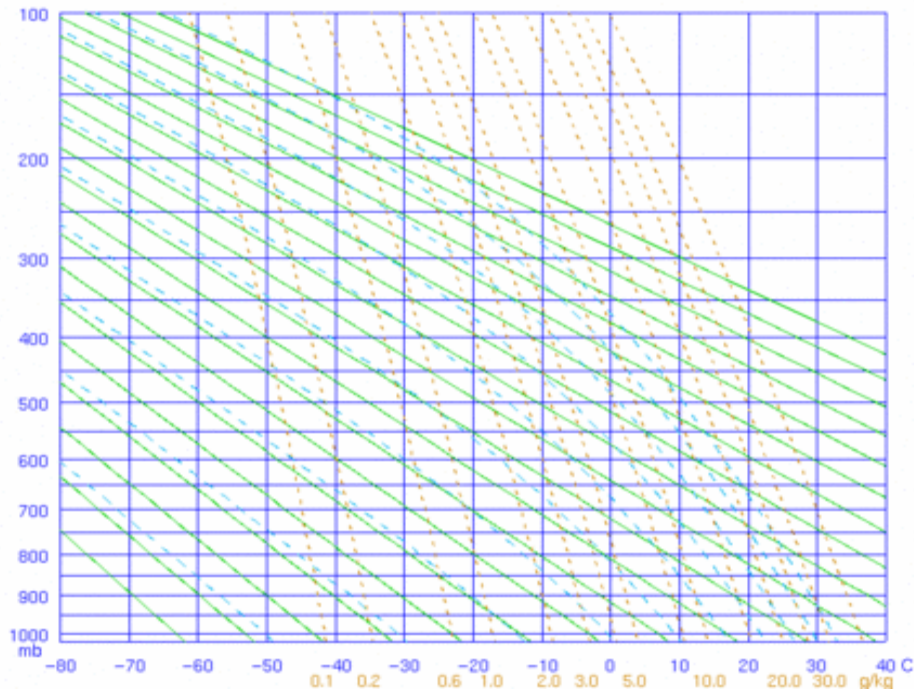


Figure (II.1) : Diagramme de Stüve.

II.2.2 -Téphigramme

II.2.2.1 -Définition

Le téphigramme est un diagramme aérologique dont les coordonnées sont T sur l'abscisse et $\ln \theta$ sur l'ordonnée. Il a été conçu par Sir William Napier Shaw en 1915. Puisque l'entropie spécifique est fonction de la température potentielle, $s = C_p d \ln \theta + cte$, le téphigramme peut alors être considéré comme un diagramme aérologique dans les coordonnées s versus T .

De la définition de température potentielle,[10] :

$$\theta = T_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{R/C_p} \quad (\text{II.7})$$

On a que :

$$(\ln \theta) = \ln T - k \ln P + cte \quad (\text{II.8})$$

Où $k = R/C_p$

Les isobares sont des courbes logarithmiques dans un téphigramme. Figure (II.2) présente les isobares tracées sur un diagramme $\ln \theta$ versus T .

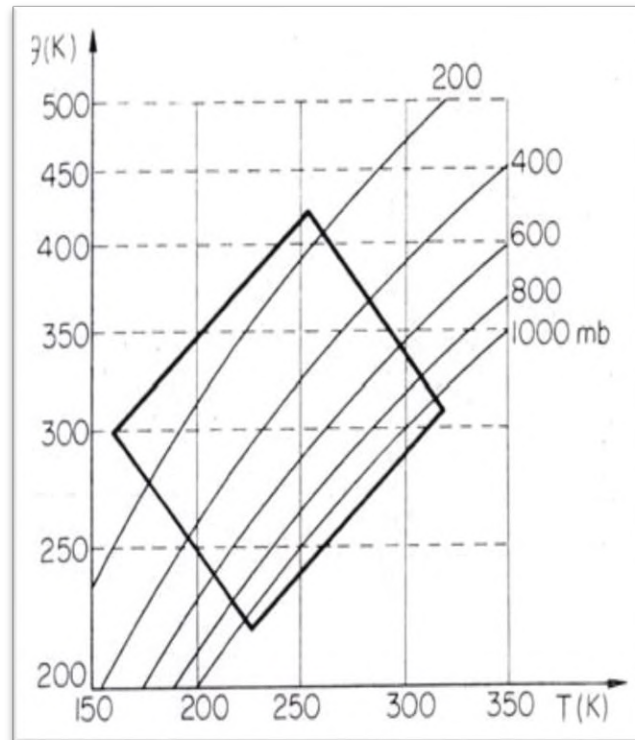


Figure (II.2) : isobares, isothermes et isotropes dans un téphigramme.

(Source : Iribarne, 1973).

La partie encadrée représente la surface couverte par un téphigramme. Un aspect intéressant que l'on retrouve dans le téphigramme est l'équivalence énergie surface. Puisque :

$$\delta q = T ds = du + p d\alpha \quad (\text{II.9})$$

Sur un cycle réversible on obtient que :

$$\oint T ds = \oint du + \oint p d\alpha = \oint p d\alpha \quad (\text{II.10})$$

$$\oint T ds = C_p \oint T d(\ln \theta) = \oint p d\alpha \quad (\text{II.11})$$

Ainsi le téphigramme (s versus T) est un diagramme qui représente une transformation du diagramme ($P\alpha$) et qui préserve l'équivalence surface-énergie. Des surfaces égales en différentes portions du téphigramme représentent égales quantités d'énergie. (Note : le cycle est positif dans le sens contraire des aiguilles d'une montre)[10].

II.2.2.2- Orientation des lignes fondamentales

- **Les isobares (hPa)** sont indiquées par les lignes pointées courbées et quasi horizontales, tracés à intervalles de 10 hPa, de 1050 à 100 hPa. Noter, que la pression

suit une décroissance logarithmique vers le haut du diagramme, les hautes pressions représentant les basses altitudes, voir Figure (II.3).

- **Les isothermes ($^{\circ}\text{C}$)** sont indiquées par des traits verts parallèles qui sont tracés du coin gauche inférieur vers le coin droit supérieur, formant un angle de 45° avec l'horizontal, repérées en abscisses elles sont graduées en verte à tous les 5°C . L'isotherme 0°C est indiquée par une ligne verte plus épaisse.

- **Les adiabatiques sèches (K)** sont indiquées par les droites brunes perpendiculaires aux isothermes. Noter que leur pente fait bien état d'un refroidissement lors de l'ascension d'une parcelle d'air. Les courbes sont de température potentielle croissante lorsqu'on parcourt le réseau de la gauche vers la droite. Elles sont numérotées en K le long de l'isotherme -50°C et de l'isotherme 0°C .

- **Les adiabatiques saturées ($^{\circ}\text{C}$)** sont indiquées par les courbes presque perpendiculaires aux isobares dans le coin droit au bas de la feuille. Elles sont numérotées en $^{\circ}\text{C}$, le long de l'isotherme -50°C . La cote de température représente ce qu'on appelle la température potentielle du thermomètre mouillé. Ces courbes sont également appelées les courbes pseudo-adiabatiques.

- **Les rapports de mélange saturants (g/kg)** sont indiqués par les courbes, presque droites et presque parallèles, tracées de bas en haut et inclinées vers la droite sur le téphigramme. Elles sont plus rapprochées de la vertical que les isothermes. Elles sont numérotées en brun au-dessous de l'isobare 1050 hPa (par rapport à l'eau) et au-dessus de l'isobare 100 hPa (par rapport à la glace), [10], voir Figure (II.3).

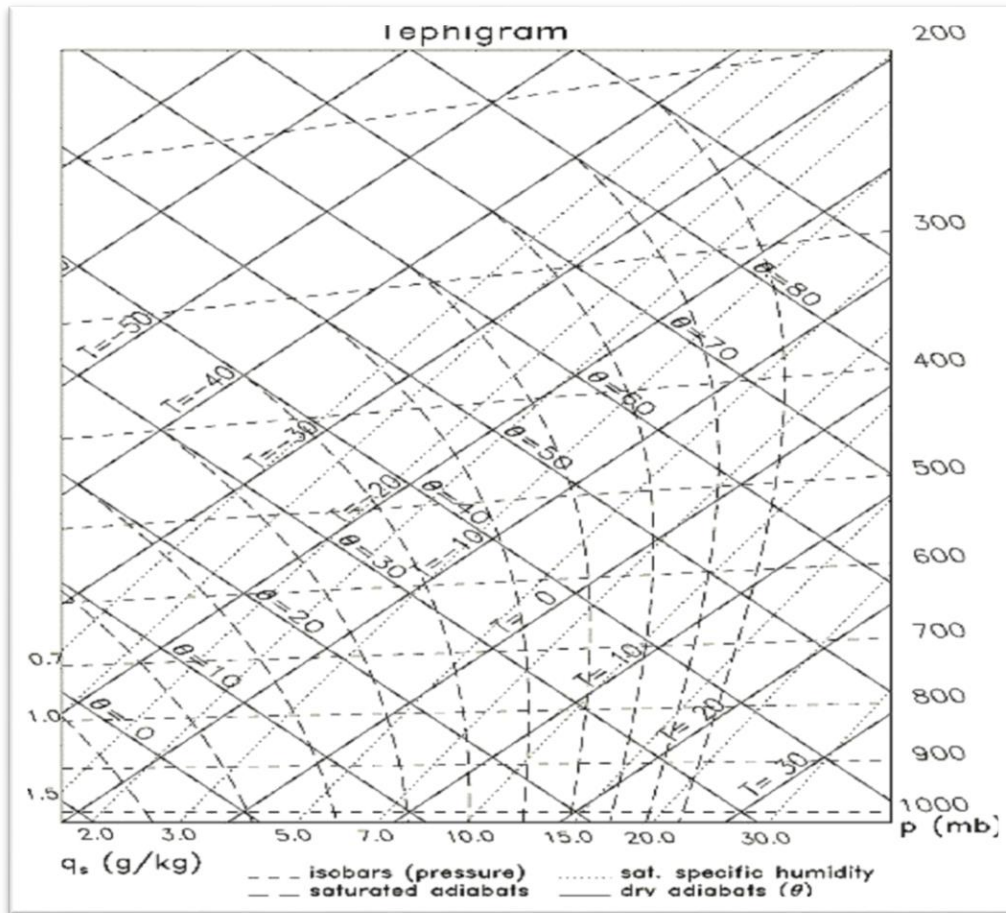


Figure (II.3) : Téphigramme.

II.2.3- Émagramme

Les émagramme sont des principaux diagrammes thermodynamiques utilisés pour analyser la structure thermique de l'atmosphère. Il est utilisé pour pointer la température et le point de rosée provenant d'un sondage aérologique par radiosondes, d'un avion ou extrapolés par satellite. Les axes d'un émagramme sont ceux de température (T) et du logarithme de la pression (P) dans un repère semi-logarithmique. Ces axes sont perpendiculaires dans le diagramme original mais la version la plus courante est celle dont l'axe des températures est à 45 degrés incliné vers la droite, ce diagramme est appelé Skew-T au monde anglophone et émagramme 761 au monde francophone,[9].

II.2.3.1-Emagramme original

L'émagramme a été développé en 1884 par Heinrich Hertz. Dans sa forme originale (Figure II.4), il est surtout utilisé en Europe. En pointant la température et le

point de rosée sur l'émagramme, on peut calculer la stabilité de l'air et l'Énergie potentielle de convection disponible (CAPE).

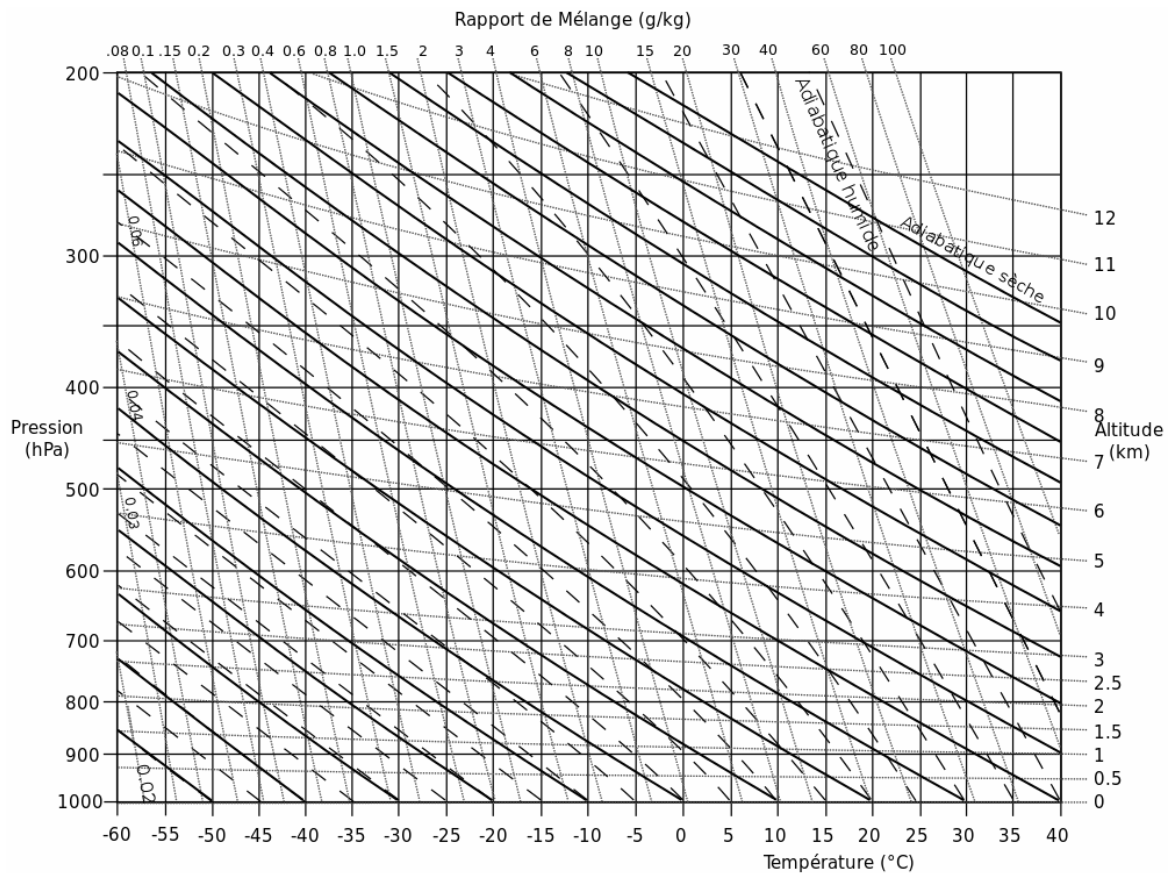


Figure (II.4) : Emagramme originale (source : www.météofrance.com)

Un graphique permettant de représenter l'état de l'atmosphère et d'en prédire l'évolution probable au cours de la journée. En un lieu donné, à différents niveaux[5]. Parmi les diagrammes mentionnés ci-dessus, l'émagramme est le plus souvent utilisés. Il a été conçu en prenant $X=T$, cela veut dire que [8] :

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_\alpha = \left(\frac{\partial Y}{\partial \alpha}\right)_T \tag{II.12}$$

En utilisant l'équation d'état des gaz parfaits pour l'air sec sous la forme :

$$P \times \alpha = R \times T \Rightarrow \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_\alpha = \frac{R_\alpha}{\alpha} \tag{II.13}$$

L'équation (II.12) devienne :

$$\left(\frac{\partial Y}{\partial \alpha}\right)_T = \frac{R_\alpha}{\alpha} \tag{II.14}$$

Ce qui donne, en intégrant par rapport à α :

$$Y = R_\alpha \times \text{Log}_n \alpha + F(T) \tag{II.15}$$

Ou $F(T)$ une fonction arbitraire de l'intégration. De l'équation d'état des gaz parfaits pour l'air sec on tire également :

$$\mathbf{Log}_n \alpha = -\mathbf{Log}_n P + \mathbf{Log}_n R_a + \mathbf{Log}_n T \quad (\text{II.16})$$

En remplaçant, dans l'équation (II.15), $\mathbf{Log}_n \alpha$ par sa valeur tirée de l'équation ci-dessus, on aura :

$$\mathbf{Y} = -\mathbf{R}_a \mathbf{Log}_n P + [\mathbf{R}_a \mathbf{Log}_n R_a + \mathbf{R}_a \mathbf{Log}_n T + \mathbf{F}(T)] \quad (\text{II.17})$$

Puisque $F(T)$ est totalement arbitraire, on peut lui donner la valeur :

$$\mathbf{F}(T) = -\mathbf{R}_a \times \mathbf{Log}_n P + \mathbf{R}_a \times \mathbf{Log}_n T \quad (\text{II.18})$$

L'équation (II-17) devienne alors :

$$\mathbf{Y} = -\mathbf{R}_a \times \mathbf{Log}_n P \quad (\text{II.19})$$

Donc, pour l'émagramme, les coordonnées sont les suivantes : $\mathbf{X} = T$

$$\mathbf{Y} = -\mathbf{R}_a \times \mathbf{Log}_n P \quad (\text{II.20})$$

II.2.3.2-Emagramme à 90 degrés

L'axe de pression est celui le vertical exprimé en millibar (mbar) ou hectopascal (hPa). L'espacement est logarithmique, c'est-à-dire que la distance entre P_2 et P_{1000} (niveau 1000 hPa) est : $\log(P_{1000}) - \log(P_2)$. Comme la variation de la pression avec l'altitude est logarithmique, on peut ajouter à l'axe vertical une correspondance linéaire de hauteur en kilomètres en utilisant l'hypothèse de l'atmosphère normalisée [10].

L'axe horizontal est celui des isothermes de température et il est linéaire. Dans le cas de l'émagramme original, cet axe est perpendiculaire à celui des pressions. Les iso rapports de mélange (iso_{rw}) sont légèrement inclinés verticalement vers la droite, et les pseudo-adiabatique saturées sont des droites légèrement inclinés vers la gauche de la vertical, voir Figure (II.5) [10].

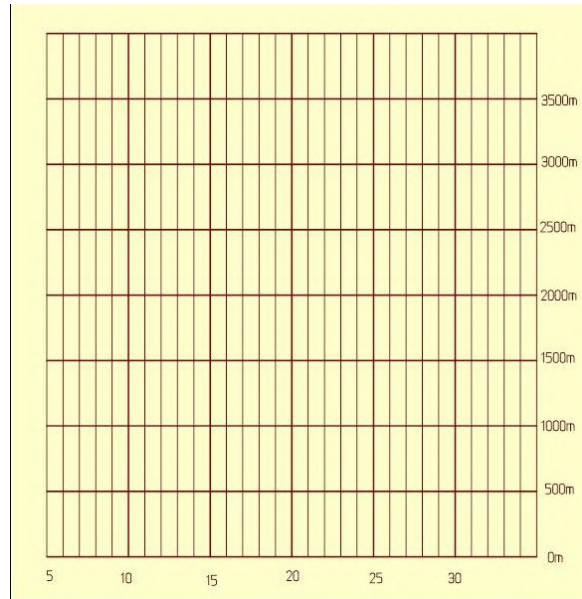


Figure (II.5) : Emagramme à 90°.

II.2.3.3-Emagramme à 45 degrés

Compte tenu de la décroissance de la température, dans l'émagramme à 90° la courbe d'état est penchée à gauche et sort rapidement de la feuille. Pour que la courbe d'état soit sensiblement verticale, l'homme intelligent a inventé l'émagramme oblique[7]. Dans cet émagramme, l'axe des températures fait un angle vers la droite de 45° avec la vertical, voir Figure (II.8). Cette rotation de l'axe des températures permet de tracer les températures et points de rosée à une plus grande altitude sur une feuille de grandeur équivalente à celle d'un émagramme classique [10].

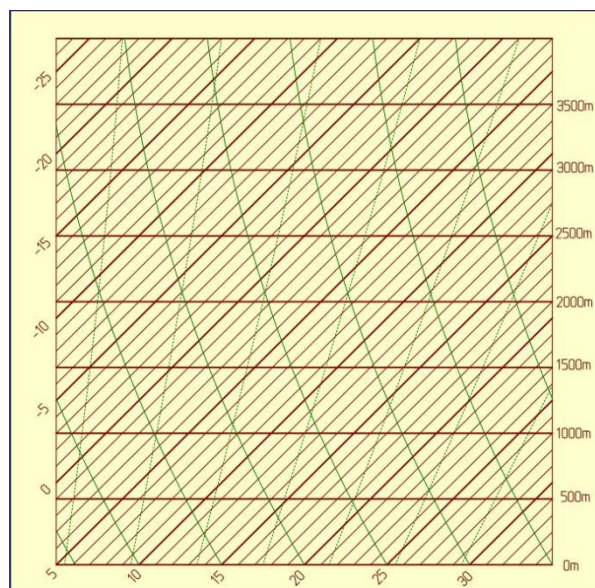


Figure (II.6) : Emagramme à 45°.

II.2.4-Emagramme 761

Nous avons indiqué que cet diagramme est exécuté en coordonnées obliques à 45°, les coordonnées obliques (x, y) sont liées aux coordonnées rectangulaires (X, Y) par la relations [3] [8], voir Figure (II.7) :

$$Y = \frac{y}{\sqrt{2}} \tag{II.21}$$

$$X = x + \frac{y}{\sqrt{2}} = x + Y$$

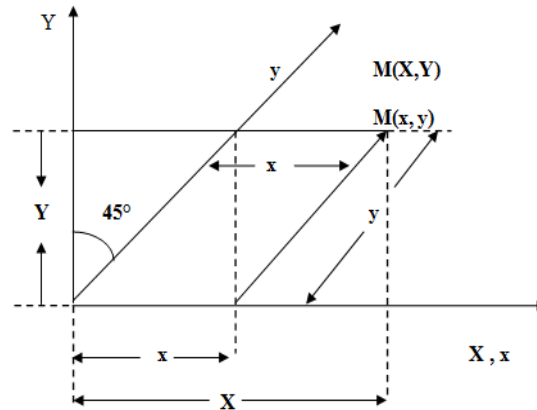


Figure (II.7) : Emagramme en coordonnée rectangulaire.

Pour la coordonnée horizontale, on pose, en prenant T_0 comme température à l'origine :

$$T = T_0 + \frac{x}{a} \Rightarrow x = a \times (T - T_0) = a \times t \tag{II.22}$$

La coordonnée horizontale X s'écrit alors :

$$X = x + Y = a \times t + Y \tag{II.23}$$

Pour la coordonnée vertical Y, on a choisi :

$$Y = b \times \log_{10} \frac{P}{P_0} \tag{II.24}$$

Et, puisque la pression diminue avec l'altitude, il est préférable d'orienter Y dans le sens des pressions décroissantes. D'autre part, on a choisi $P_0 = 1000\text{hPa}$ et $P = 100\text{hPa}$.

Pour le choix des échelles a et b, celles-ci étant arbitraires, on a pris $a = 4\text{mm}$ et pour b, la distance, en(mm), séparant le point représentant la pression à 100 hPa et celui représentant la pression à 1000 hPa, soit $b = 350\text{mm}$

Pour : $\log_{10} \frac{P_0}{P} = \log_{10} \frac{1000}{100} = \log_{10} 10 = 1$

Ce qui conduit à avoir les échelles suivantes :

- Selon Y :

$$Y(\text{en mm}) = 350 \times \log_{10} \frac{1000}{P} = 350(3 - \log_{10} P)$$

$$\text{Soit : } Y(\text{en mm}) = 1050 - 350 \times \log_{10} P \quad (\text{II.25})$$

- Selon X :

$$Y(\text{mm}) = 4 \times t + Y \quad (\text{II.26})$$

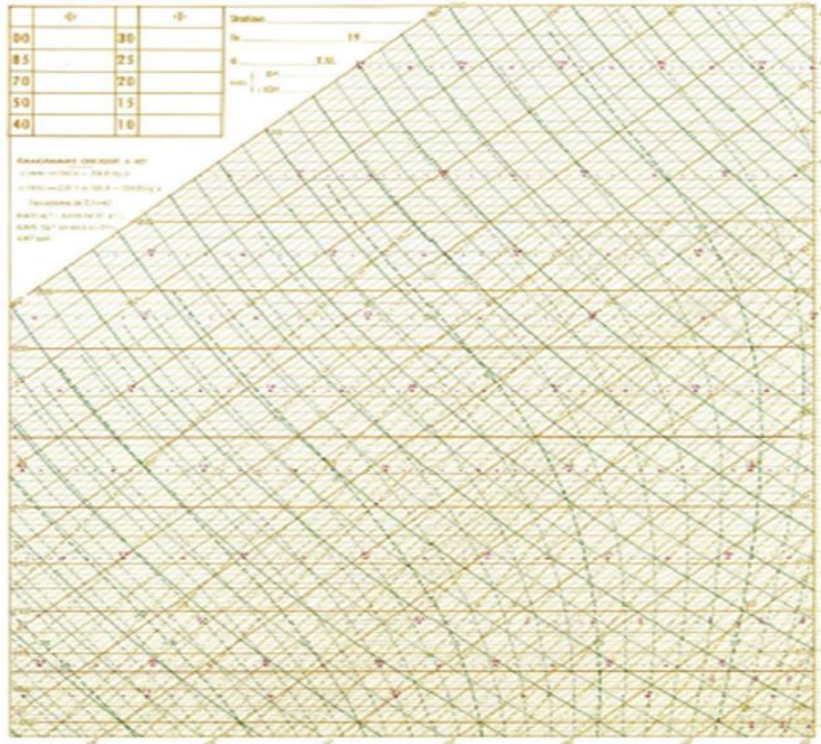


Figure (II.8) : Emagramme761 .

II.2.4.1-Orientation des lignes fondamentales

- **Les isobares (hPa)** sont indiquées par les lignes bistre (brun jaunâtre) continues horizontales et repérées en ordonnées. Comme indiqué précédemment, que la pression suit une décroissance logarithmique vers le haut du diagramme, les hautes pressions représentant les basses altitudes ;

- **Les isothermes (°C)** sont indiquées par des lignes bistre continues inclinées à 45° et repérées en abscisses ;

- **Les adiabatiques sèches** : courbes représentant les transformations adiabatiques des particules d'air sec, équivalent au réseau de courbes d'égale température potentielle, ils sont indiquées par les courbes vertes continues obliques. Noter que leur pente fait bien état d'un refroidissement lors de l'ascension d'une parcelle d'air (et donc d'une

détente adiabatique de celle-ci). Les courbes sont de température potentielle croissante lorsqu'on parcourt le réseau de la gauche vers la droite;

- **Les adiabatiques saturés** : courbes "pseudo-adiabatiques", dont chacune figure une transformation adiabatique saturée: lorsqu'une parcelle devient et reste saturée, le point représentant son état sur l'émagramme évolue sur une et une seule de ces courbes. Chaque pseudo-adiabatique est cotée par la valeur de la température à son point d'intersection avec la droite isobare 1000 hPa, et cette valeur constitue la température pseudo-adiabatique potentielle du thermomètre mouillé de cette courbe, plus communément appelée " θ'_w " (de symbole θ'_w);
- **Les rapports de mélange saturants** : sont les courbes d'égale valeur r_w du rapport de mélange de saturation, cotées chacune par cette valeur r_w (l'unité en est le gramme de vapeur d'eau par gramme d'air sec,[11]).

II.2.5 -Le Skew-T /- log p

Le Skew-T est l'un des diagrammes thermodynamiques le plus utilisés pour analyser la structure thermique de l'atmosphère. La figure II.9 en est un exemple. Ses axes sont la température (T) versus le logarithme de la pression (p) dans un repère semi-logarithmique. Le nom vient de l'aspect biais (Skew en anglais) de l'axe des températures.

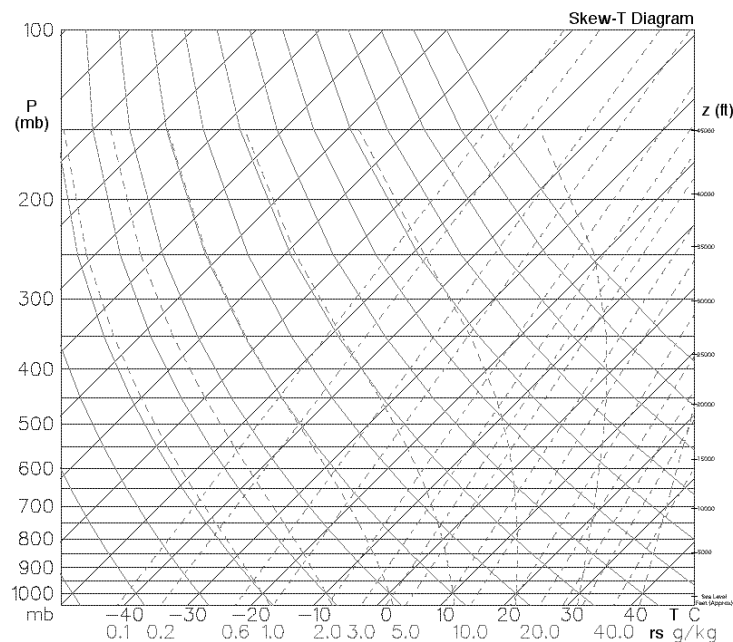


Figure (II.9) : Diagramme de Skew-T

II.2.5.1-Orientation des lignes fondamentales

- **Les isobares (hPa) :** sont indiquées par les lignes bleues horizontales et repérées en ordonnées. Noter, comme indiqué précédemment, que la pression suit une décroissance logarithmique vers le haut du diagramme, les hautes pressions représentant les basses altitudes.

- **Les isothermes (°C) :** sont indiquées par des traits bleus obliques et repérées en abscisses.

- **Les adiabatiques sèches :** courbes représentant les transformations adiabatiques des particules d'air sec, équivalent au réseau de courbes d'égale température potentielle. Ils sont indiqués par les courbes vertes obliques. Noter que leur pente fait bien état d'un refroidissement lors de l'ascension d'une parcelle d'air (et donc d'une détente adiabatique de celle-ci). Les courbes sont de température potentielle croissante lorsqu'on parcourt le réseau de la gauche vers la droite.

- **Les adiabatiques saturées:** sont indiquées par les lignes bleues obliques. Ces courbes sont également appelées les courbes pseudo-adiabatiques ; lorsqu'une parcelle devient et reste saturée, au cours par exemple d'une ascension, le point d'état ne suivra plus une courbe d'égale température potentielle, mais une courbe d'égale « température pseudo-adiabatique potentielle du thermomètre mouillé » notée θ'_w .

- **Les rapports de mélange saturants :** sont indiqués par les courbes mauves. On rappelle la définition du rapport de mélange r (rapport de mélange en masse, obtenu via la loi de Dalton des pressions partielles) :

$$r = 0.622 \frac{e}{p-e} \quad (\text{II.27})$$

Où p est la pression et e la pression partielle de la vapeur d'eau. r exprime la masse de vapeur d'eau associée à l'unité de masse d'air sec, c'est-à-dire la richesse de l'air en vapeur d'eau ; en général r est très inférieur à 1, on utilise donc en général une unité mille fois plus petite, en grammes de vapeur par kilogramme d'air sec. Sur les diagrammes, ce sont les rapports de mélange saturants qui sont indiqués, à savoir la masse maximale de vapeur d'eau qui peut exister à la température de l'air d'air donnée à une pression p , [6].

II.2.6- Différence entre le diagramme Skew ($T, -\text{Log}_n P$) et l'émagramme 761

Ces deux diagrammes sont très souvent utilisés, le premier dans le monde anglo-saxon (plus communément aux Etats-Unis) et le second, d'origine française, dans le monde francophone. Ils sont, en fait, tous les deux des variantes de l'émagramme. Ils se distinguent notamment par les particularités suivantes :[3]

- Pour raisons d'encombrement, ils sont exécutés en coordonnées obliques à 45°;
- Comme coordonnée vertical, on utilise $\text{Log}_n P$ pour le diagramme Skew-T (Skew, en anglais, veut dire oblique), et $\log_{10} \frac{P}{P_0}$ pour l'émagramme 761.
-

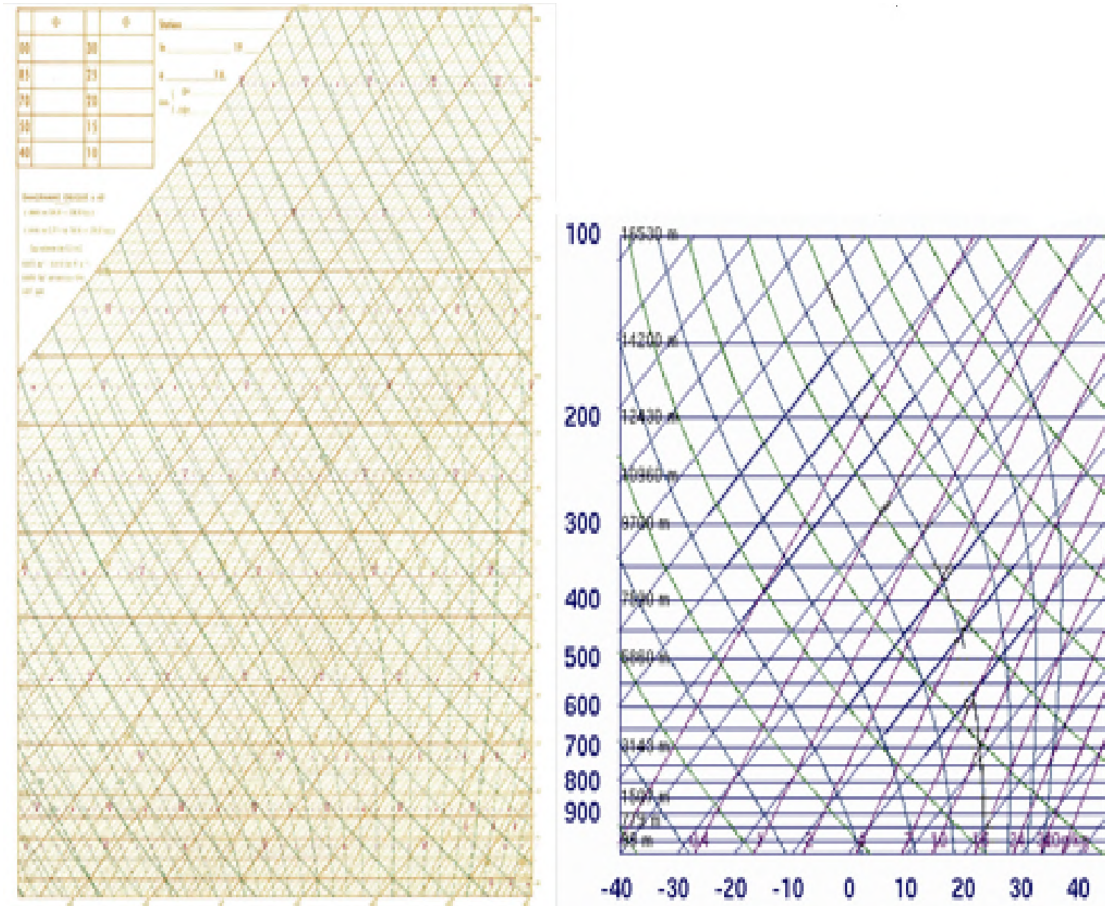


Figure (II.10) : Emagramme 761 et Skew-T.

CHAPITRE III

ÉTUDE DE LA STABILITE /
INSTABILITE ATMOSPHERIQUE –
INDICES DE STABILITE

III.1- Définitions

Soit une bille soumise à la force de la pesanteur. Imaginons les cas de figures suivants [8] :

III.1.1 - Equilibre stable

1^{er} cas (Figure III.1) : la bille est placée au point le plus bas d'une surface hémisphérique. Si on la déplace de son point d'équilibre, dans n'importe quelle direction, jusqu'à un point à l'intérieur de la surface hémisphérique, et qu'ensuite, on la lâche, elle tendra à revenir à sa position initiale : on dit que l'équilibre est stable [8].

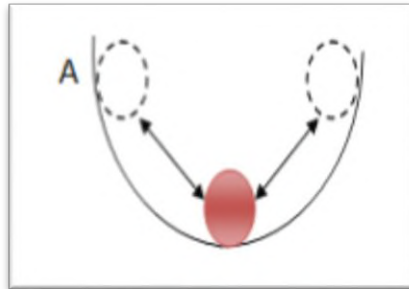


Figure (III.1) : Equilibre stable.

III.1.2- Equilibre instable

2^{ème} cas (Figure III.2) : la bille est placée au sommet d'une surface hémisphérique retournée. Si on l'écarte de sa position initiale, elle tendra à s'en éloigner davantage: l'équilibre dit, dans ce cas, instable.

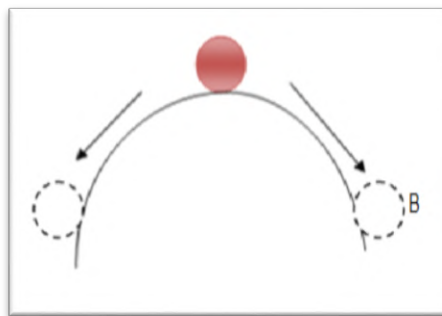


Figure (III.2) : Equilibre instable.

III.1.3- Equilibre neutre

3^{ème} cas (Figure III.3) : la bille est placée sur une surface plane. Si on la déplace de sa position initiale jusqu'à la position B, elle restera en équilibre dans sa nouvelle position : L'équilibre est dit neutre ou indifférent.

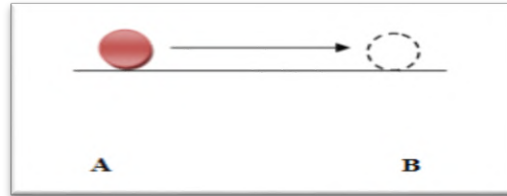


Figure (III.3) : Equilibre neutre .

III.1.4- Equilibre conditionnel

4^{ème} cas (Figure III.4) : la bille est maintenant placée au creux d'une surface telle que représentée dans la Figure (III.4). Si on la déplace de sa position d'équilibre jusqu'au point A où elle est lâchée, la bille reviendra à sa position initiale. Si par contre la bille est déplacée jusqu'au point B de l'autre côté de la bosse, elle continuera à rouler : on dit qu'il y a instable conditionnel [8].

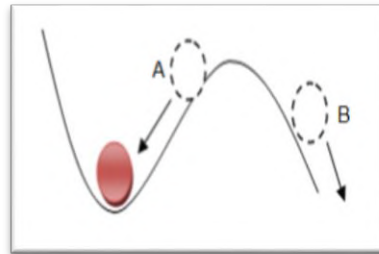


Figure (III.4) : Instabilité conditionnel.

III.2 - Accélération vertical d'une particule

Considérons une particule d'air atmosphérique de volume unité, de densité (donc de masse) ρ_p , à une température T_p et à la même pression P que l'air environnant (Figure III-5). L'intensité de la force dirigée vers le bas, exercée sur la particule est égale à $\rho_p \times g$. Soit ρ_e et T_e la densité et température respectivement de l'air environnant. D'après le principe d'Archimède l'intensité de la force vertical dirigée vers le haut, agissant sur la particule est égale à $\rho_e \times g$, g étant l'accélération de la pesanteur [8].

Donc, l'intensité de la force résultante F vertical exercée sur la particule est :

$$F = (\rho_e - \rho_P) \times g \quad (\text{III.1})$$

et l'accélération (ou flottabilité) vertical de la particule, pour tous déplacements verticaux (Z positif ou négatif), est alors donnée par :

$$\frac{d^2Z}{dt^2} = \frac{F}{\rho_P} = \frac{(\rho_e \times \rho_P)}{\rho_P} \times g \quad (\text{III.2})$$

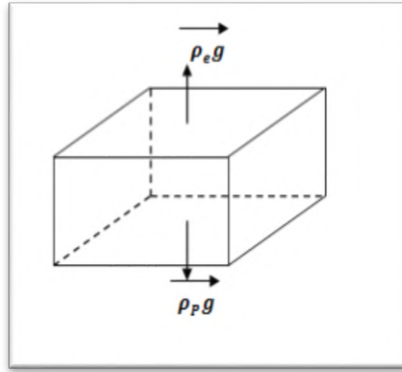


Figure (III.5) : Accélération vertical d'une l'atmosphère.

En utilisation l'équation d'état des gaz parfaits pour l'air environnant sous la forme :

$$PV = nRT \quad (\text{III.3})$$

et pour la particule, on peut écrire :

$$\rho_e = \frac{P}{R} \times \frac{1}{T_e} \text{ et } \rho_P = \frac{P}{R} \times \frac{1}{T_P} \quad (\text{III.4})$$

En portant les valeurs de ρ_e et ρ_P ci-dessus dans l'équation (III.2), on obtient :

$$\frac{d^2Z}{dt^2} = \frac{(\rho_e \times \rho_P)}{\rho_P} \times g = \frac{(T_P - T_e)}{T_e} \times g \quad (\text{III.5})$$

Souvent on utilise les températures virtuelles T_{VP} et T_{Ve} , respectivement de la particule et de l'air environnant, à la place de T_P et de T_e dans les expressions relatives à l'étude de la stabilité statique [8].

III.3- Stabilité et instabilité d'une particule d'air dans l'atmosphère

- Stabilité : est l'état dans lequel une particule d'air atmosphérique soulevée adiabatement, se trouve plus froide (donc plus dense) que l'air environnant à la même pression (altitude) et donc revient spontanément à sa position initiale.

- Instabilité : par contre, est l'état dans lequel une particule d'air atmosphérique soulevée adiabatement, se trouve plus chaude (donc moins dense) que l'air environnant à la même pression (altitude) et donc continue spontanément à se soulever.

La méthode de déterminer la stabilité d'une particule, appelée méthode de la particule est basée sur la comparaison entre l'état d'une particule qui s'élève et celui de son environnement [8].

III.3.1- Cas d'équilibre de l'air non saturé

Considérons une couche d'air non saturé en équilibre hydrostatique, comprise entre deux niveaux de pression P_A et P_B ($P_A > P_B$), correspondant aux niveaux d'altitude Z_A et Z_B ($Z_B > Z_A$), et dont les températures à la base et au sommet sont respectivement t_A et t_B , la variation de température dans la couche étant représentée par le segment de droite AB . Supposons une particule à la base de cette couche, initialement à la même température, la même pression et la même densité que la couche. Supposons également que la particule soit soulevée adiabatiquement du niveau P_A jusqu'au niveau P_B sans saturation, son point d'état vient en C avec une température t_C [8].

Soit :

$$\Gamma_{aP} = \frac{t_C - t_A}{Z_B - Z_A} \text{ gradient adiabatique sec de la particule}$$

$$\Gamma_{aE} = \frac{t_B - t_A}{Z_B - Z_A} \text{ gradient adiabatique sec de l'air environnant, tel que mesurée par une radiosonde.}$$

L'un des cas d'équilibre suivants peut se présenter : [8].

Cas 1 : Equilibre Stable (Figure III.6)

$t_C < t_B$: on a : $\theta_A < \theta_B$ et $\Gamma_{aP} > \Gamma_{aE}$, et la courbe d'état est inclinée sur la droite de l'adiabatique sèche issue de A :

La particule arrivée au niveau de pression P_B , à une température inférieure (donc une densité supérieure) à celle d'air environnant, elle tendra donc à revenir à son niveau initial : l'équilibre est alors stable [8].

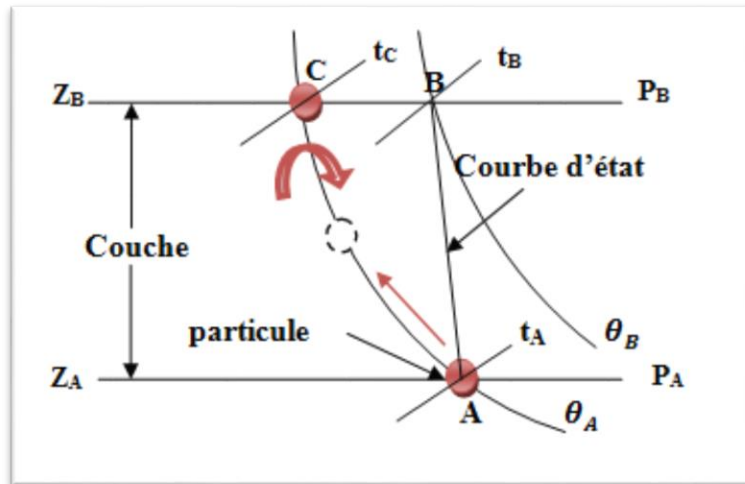


Figure (III.6) : Equilibre est stable.

Cas 2 : Equilibre Instable (Figure III.7)

$t_c > t_B$ on a : $\theta_A > \theta_B$ et $\Gamma_{aP} < \Gamma_{aE}$, et la courbe d'état est inclinée sur la droite de l'adiabatique sèche issue de A :

La particule arrivée au niveau de pression P_B a une température supérieure (donc une densité inférieure) à celle d'air environnant, elle poursuivra donc son ascension, l'équilibre est instable [8].

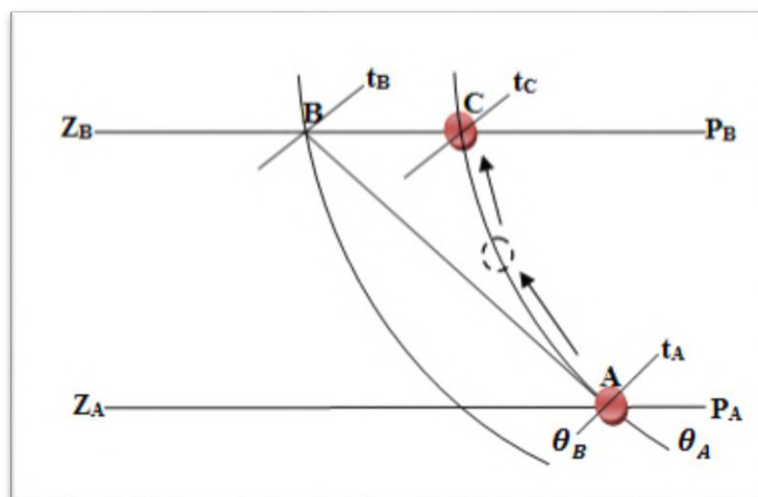


Figure (III.7) : Equilibre est instable.

Cas 3 : Equilibre neutre (Figure III.8)

$t_c = t_B$ on a : $\theta_A = \theta_B$ et $\Gamma_{aP} = \Gamma_{aE}$

Quel que soit le niveau entre P_A et P_B auquel la particule parvient à la fin d'une ascension ou d'une descente forcée, sa température à ce niveau est toujours égale à

celle de l'air environnant, donc de densité également, elle ne tendra ni se soulever, ni à revenir à son niveau initial : l'équilibre est indifférent ou neutre. Ce cas arrive suite à un mélange de deux masses d'air ou à un brassage d'une masse d'air par journée venteuse. La particule se met en équilibre avec l'air environnant par échange de chaleur : le soulèvement de la particule n'est donc pas adiabatique dans ce cas [8].

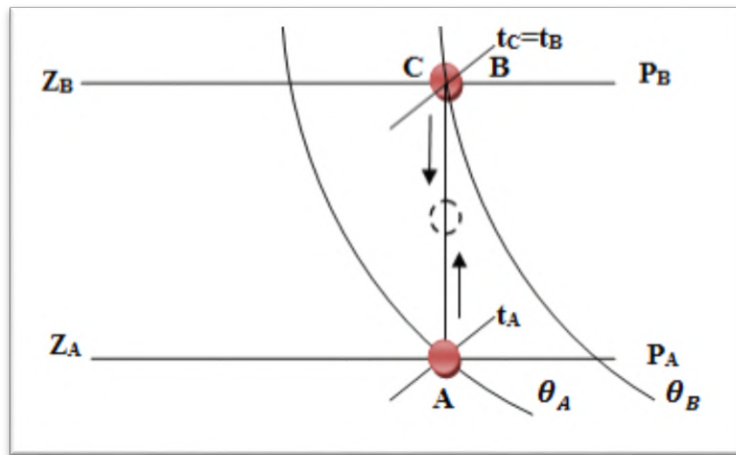


Figure (III.8) : Equilibre est neutre.

III.3.2 - Cas d'équilibre de l'air saturé

Il suffit de remplacer dans le cas précédent les températures adiabatiques potentielles θ par les températures pseudo-adiabatiques potentielles du thermomètre mouillé θ'_w , et les gradients adiabatiques secs γ_a par les gradients adiabatiques saturés γ_s . On arrive alors aux cas suivants [8] :

Cas 1 : Equilibre Stable (Figure III.9)

$t_c < t_B$ on a : $\theta'_{wA} < \theta'_{wB}$ et $\gamma_{sP} > \gamma_{sE}$: l'équilibre est stable.

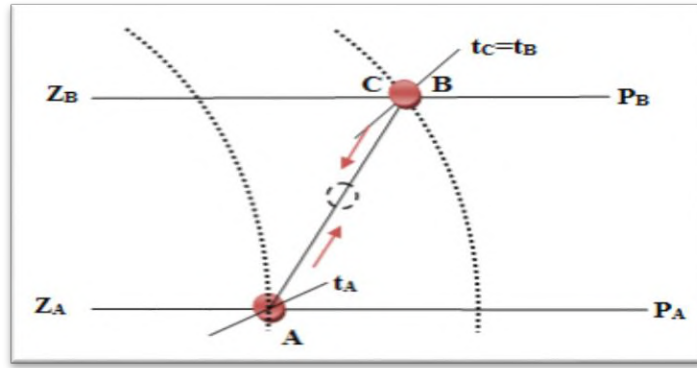


Figure (III.11) : Equilibre neutre.

III.3.3- Instabilité conditionnel (ou latente) d'une particule

Une couche d'air est en instabilité conditionnel lorsque sa courbe d'état est située entre l'adiabatique sèche et la pseudo-adiabatique saturée qui passe par la base. En effet, supposons que la particule d'air située initialement au niveau p^\bullet soit sèche, le mouvement montre qu'il y a stabilité [12].

Si la particule située au niveau p^\bullet est saturée, le soulèvement montre qu'il y a instabilité.

Si la particule située au niveau p^\bullet est humide (cas le plus fréquent en pratique) nous constatons que:

Pour un soulèvement jusqu'à un niveau inférieure au niveau p_i , niveau d'intersection du pseudo adiabatique saturée avec la courbe d'état, la température de la particule qui s'élève est inférieure à celle de l'air ambiant. Il y a donc stabilité.

Au niveau p_i , la température de la particule qui s'élève est égale à la température de l'air ambiant. Il y a donc équilibre indifférent.

Pour un soulèvement jusqu'à un niveau supérieure au niveau p_i , la température de la particule qui s'élève devient supérieure à la température de l'air ambiant. Il y a instabilité. Par conséquent, l'instabilité ne se déclenche que lorsque il y ait un soulèvement (provoqué par une cause extérieure) jusqu'à un niveau supérieure p_i . Ce niveau sera atteint d'autant plus vite que l'humidité initiale est plus grande, voir Figure (III.12).

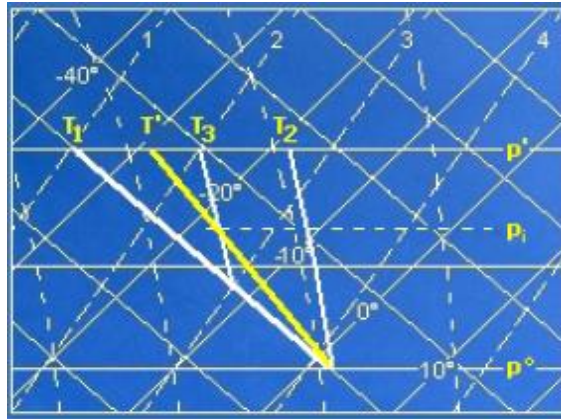


Figure (III.12) : Instabilité conditionnel.

III.4 - Principaux niveaux pouvant être atteints par une particule d'air soulevée adiabatiquement

III.4.1- Niveau de Condensation par Ascendance – NCA

Niveau de condensation atteint par une particule soumise à un mouvement ascendant forcé. Pour déterminer ce niveau, suivre l'adiabatique sèche issue du point d'état jusqu'à son intersection avec la ligne d'égale rapport de mélange issue du point de rosé : Le niveau de point d'intersection est le NCA. Ce niveau correspondant à celui la base des nuages en couche ou stratiformes [8].

III.4.2- Niveau de Condensation par Convection – NCC

Niveau de condensation atteint par suite de convection d'une particule d'air à partir de la surface terrestre. On le détermine en suivant la ligne de rapport de mélange de saturation passant par le point de rosé de la particule jusqu'à son intersection avec la courbe d'état : le niveau du point d'intersection est le NCC. Ce niveau est celui de la base des nuages à développement vertical important ou nuages cumuliforme (cumulus, cumulonimbus) [8].

III.4.3- Niveau de Convection Libre – NCL

Niveau à partir duquel en particule d'air soulevée adiabatiquement devient plus chaude que l'air environnant. Pour le déterminer, suivre la pseudo-adiabatique saturée issue du NCA jusqu'à son intersection avec la courbe d'état : le niveau atteint est le NCL [8].

III.4.4- Niveau d'Equilibre - NE

Niveau auquel la température d'une particule d'air en ascendance par suite de convection, devient égale à celle de l'air environnant. Ce niveau sert à déterminer le sommet maximum des nuages. Pour déterminer ce niveau, suivre la pseudo-adiabatique saturée issue du NCL jusqu'à son intersection avec la courbe d'état : le niveau du point d'intersection est le NE [8].

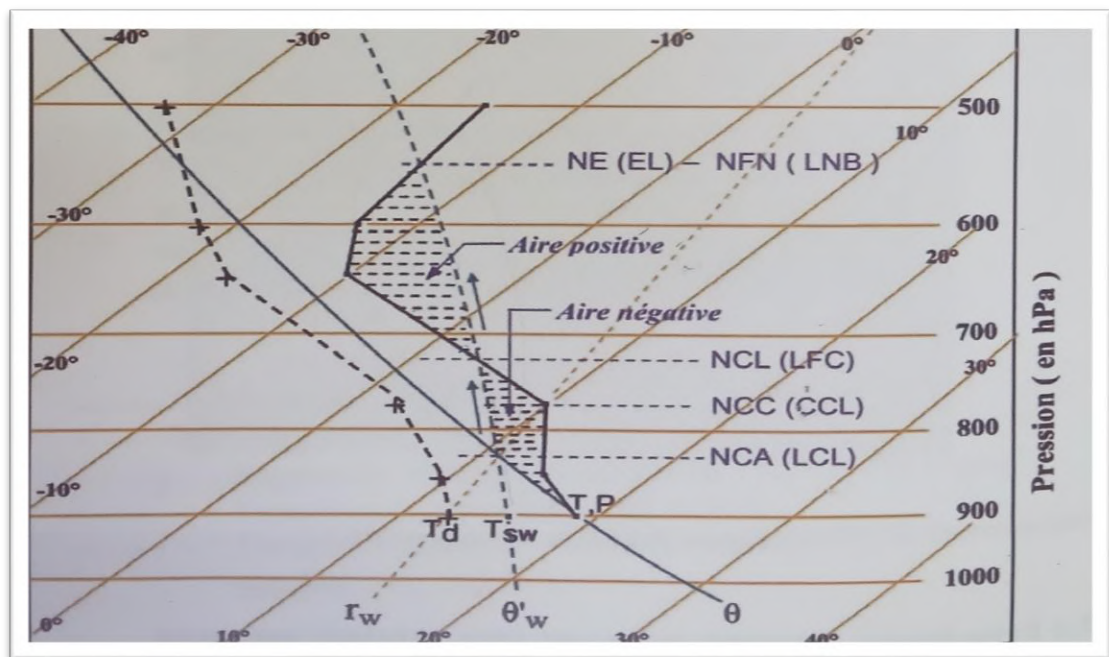


Figure (III.13): Détermination du NCA, NCC, NCL, NE sur l'émagramme 761.

III.5- Indices de stabilité

En plus des critères de stabilité ci-dessus on utilise, en météorologie, ce qu'on appelle des indices de stabilité ou indices de développement orageux, en tant qu'indicateurs simples de la probabilité d'instabilité convective. Ces indices empiriques permettent d'évaluer les risques d'apparition de conditions orageuses [8].

Cependant, ces indices ayant été établis empiriquement par des auteurs différents pour des lieux géographiquement aussi différents, les valeurs des indices pour la probabilité de la même intensité de stabilité / instabilité (faible, modérée, forte, etc...) varient, également d'un auteur à un autre et d'une région géographique à une autre. Il faudrait ajouter à ceci qu'il reste encore à donner une signification quantitative à ces

mots de faible, modérée, forte, etc...., et à ajuster ces indices selon les conditions locales. Parmi ces indices, on distingue notamment les indices suivants [8] :

III.5.1- Indices de stabilité de Showalter - I_s (Showalter,1953)

Proposé en 1953 par Albert Showalter, lors des premiers jours de la prévision des orages violents, elle demeure très utile dans l'analyse des données déduites d'un radiosondage. C'est l'un des indices encore les plus couramment utilisés[9].

Aussi appelé indice de stabilité de Whiting est l'un des indices de stabilité de l'air qui donne une indication sur la possibilité de déclenchement d'orages ainsi que sur le potentiel de génération de phénomènes violents par ceux-ci (grêle, rafale descendante, tornade et pluie torrentielle sous orage). Il est similaire à l'indice de soulèvement mais pour une parcelle soulevée au-dessus de toute inversion de température en surface.

$$I_s = t - t' \quad (\text{en } ^\circ\text{C}) \quad \text{(III.6)}$$

Où : t = température de l'air environnant, relevée sur la courbe d'état au niveau 500 hPa ;
 t' = température atteinte, au niveau 500 hPa, par la particule située au niveau 850 hPa, suite à une ascendance adiabatique, en suivant l'adiabatique sèche jusqu'au point de condensation, puis la pseudo-adiabatique saturée jusqu'à 500 hPa.[8]

Les critères de stabilité / instabilité sont alors les suivants (Source :J. P. Triplet ; G. Roche(1986)), voir Tableau (III.1):

Tableau (III.1) : Critères de stabilité / instabilité, selon l'indice de Showalter.

| | |
|-----------------|----------------------------------|
| $I_s > +3$ | Ni averses ni orages |
| $+1 < I_s < +3$ | Risque d'averses et d'orages |
| $-3 < I_s < +1$ | Averses et orages probables |
| $-6 < I_s < -3$ | Forte probabilité d'orages forts |
| $I_s < -6$ | Tornades |

III.5.2- Indices de stabilité de Galway – I_A (1956)

Cet indice, établi par Galway (1956) est donné par la formule suivante :

$$I_A = t - t' \quad (\text{en } ^\circ\text{C}) \quad \text{(III.7)}$$

Où : t =température de l'air environnant, relevée sur la courbe d'état au niveau 500 hPa ;

t' = température atteinte suite à un soulèvement adiabatique jusqu'au NCA, puis pseudo adiabatiquement jusqu'au niveau 500 hPa par la particule située au niveau moyen de la couche (sol -914 m, soit 3000 pieds) du sondage, ayant comme rapport de mélange le rapport de mélange r moyen de la couche et comme température la température maximale T_X prévue pour la journée à venir. Si aucun réchauffement n'est attendu dans la journée, c'est la température potentielle moyenne de la couche qui est prise en considération à la place de T_X .

Les critères de stabilité / instabilité sont alors les mêmes que ceux utilisés pour l'indice de Showalter.

Depuis l'établissement de cet indice, plusieurs variantes ont été utilisées pour définir aussi bien l'épaisseur de la couche en surface que la particule à soulever de cette couche.

On peut citer en particulier les variantes suivantes :

- a) particule au sol ayant comme rapport de mélange le rapport de mélange r moyen dans la couche sol-1000 m, et comme température la température maximale T_X prévue pour la journée à venir (Source : J.P Triplet ;G. Roche.(1986)) ;
- b) particule ayant comme rapport de mélange le rapport de mélange r moyen dans la couche sol-50 hPa, et comme température la température potentielle moyenne de la couche ; (Sadowski and Rieck (1977)) ;
- c) particule ayant comme rapport de mélange le rapport de mélange r moyen dans la couche sol -100 hPa, et comme température la température maximale T_X prévue pour la journée à venir (Prosser and Foster (1966)).

Un autre indice de soulèvement proche de l'indice de Showalter est l'indice de soulèvement LI (Lifting Index) donné par la formule suivante :

$$LI = T_5 - T_S \quad (\text{en } ^\circ\text{C}) \tag{III.8}$$

T_5 = température du thermomètre sec (de l'air environnant) à 500 hPa.

T_S = température de la particule en surface soulevée adiabatiquement au niveau 500 hPa.

Les conditions de stabilité / instabilité sont définies comme suit, Tableau (III.2) :

Tableau (III.2): Critères de stabilité / instabilité, selon l'indice de Galway.

| | |
|------------------------------------|--------------------|
| $0 > LI \geq -3^\circ\text{C}$ | Instabilité faible |
| $-3 \geq LI \geq -5^\circ\text{C}$ | Orages probables |

| | |
|--------------------------------------|------------------------|
| $-5 \geq LI \geq -7^{\circ}\text{C}$ | Orages modérés à forts |
| $-7^{\circ}\text{C} > LI$ | Orages violents |

III.5.3- Indices KI

Cet indice mesure la probabilité de développement d'orages dans les masses d'air, il est donné par l'équation suivante :

$$KI = (T_{850} - T_{500}) + T_{D850} - (T_{700} - T_{D700}) \quad (\text{III.9})$$

Les seuils de probabilité pour cet indice sont montrés par le Tableau (III.3) suivant :

Tableau (III.3) : Probabilités de développement d'orages dans les masses d'air, selon l'indice KI.

| | |
|----------------|---------------------------------|
| $KI < 15$ | 0 % de probabilité |
| $15 < KI < 20$ | 20 % de probabilité |
| $20 < KI < 25$ | 20 à 40 % de probabilité |
| $25 < KI < 35$ | 40 à 60 % de probabilité |
| $30 < KI < 35$ | 60 à 80 % de probabilité |
| $35 < KI < 40$ | 80 à 90 % de probabilité |
| $KI > 40$ | Supérieure à 90% de probabilité |

III.5.4- L'indice total – total (Total Total Index – TTI)

Cet indice est défini par:

$$TT = T_{850} + T_{d850} - 2(T_{500}) \text{ en } ^{\circ}\text{C} \quad (\text{III.10})$$

Où : T_{850} : Température de l'air à 850 hPa.

T_{d850} : Température du point de rosée à 850 hPa.

T_{500} : Température de l'air à 500 hPa.

Les critères de probabilité d'orages sont donnés dans le Tableau (III.4) ci-après :

Tableau (III.4) : Critères de probabilité d'orages, selon l'indice TTI.

| | |
|---------------------------------------|----------------------|
| $43^{\circ}\text{C} > TTI$ | Orages peu probables |
| $44 \geq TTI \geq 43^{\circ}\text{C}$ | Orages isolés |
| $46 \geq TTI \geq 45^{\circ}\text{C}$ | Orages dispersés |

| | |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| $48 \geq TTI \geq 47^{\circ}C$ | Orages dispersés / Orages forts isolés |
| $50 \geq TTI \geq 49^{\circ}C$ | Orages forts dispersés / Quelques tornades isolées |
| $52 \geq TTI \geq 51^{\circ}C$ | Nombreux orages forts dispersés / Quelques tornades forts isolées |
| $56 \geq TTI \geq 53^{\circ}C$ | Nombreux orages forts /Tornades forts isolées |
| $TTI > 56^{\circ}C$ | Familles de tornades possibles |

III.5.5- L'indice SWEAT

L'indice SWEAT, ou indice de menace de temps violent (de l'anglais Severe Weather Threat Index) se calcule comme suit [8] :

$$SWEAT = 12 * T_{d850} + 20 * (TTI - 49) + 2 * f_{850} + f_{500} + 125 * [\sin(dd_{500} - dd_{850}) + 0.2]$$

(III.11)

Où : T_{d850} :température du point de rosée à 850 hPa en °C (si $T_{d850} < 0$; $12 * T_{d850} = 0$).

TTI :indice total-total en °C(si $TTI < 49$; $20(t - 49) = 0$).

Si ($dd_{500} < dd_{850}$), $125[\sin(dd_{500} - dd_{850}) + 0.2]=0$

f_{850} =vitesse du vent à 850 hPa , en nœuds.

f_{500} =vitesse du vent à 500 hPa , en nœuds.

$\sin(dd_{500} - dd_{850})$ =sinus de la différence entre les directions du vent à 500 et 850 hPa

Les critères d'orages sont alors les suivants, Tableau (III.5):

Tableau (III.5): Critères d'orages, selon l'indice SWEAT.

| | |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| < 272 | Orages peu probables |
| 273 à 299 | Orages isolés ; risqué faible d'orages forts |
| 300 à 400 | Limite inferieure pour la manifestation d'orages violents ; risqué modéré d'orages forts |
| 401 à 600 | Quelque orages forts avec tornades isolées ;risque fort |
| 601 à 800 | Tornades isolées ;risque élevé |

III.5.5 - Les indices CAPE et CINE

Un autre indice utilisé pour évaluer les risques d'apparition de condition orageuses est ce que l'on appelle l' »indice de l'énergie potentielle de convection

disponible (EPCD), connue sous l'appellation anglaise de Convective Available Potential Energy (CAPE).

La CAPE représente la quantité d'énergie potentielle sous forme de chaleur latente pouvant être libérée par une particule d'air atmosphérique suite à la condensation, puis transformée en énergie cinétique permettant à la particule d'accélérer son ascension. Elle est défini par l'intégrale de l'équation (III.5) et exprimé en Joule par Kilogramme ($J \cdot K_g^{-1}$). Les limites inférieure et supérieure de l'intégration diffèrent d'une étude à l'autre, mais les niveaux NCL et NE sont en générale choisis et dans ce cas l'intégrale motionnée ci-dessus s'écrit en utilisant la température virtuelle :

$$CAPE = \int_{NCL}^{NE} \frac{(T_{VP} - T_{Ve})}{T_{Ve}} \times g \times dz \quad (J \cdot K_g^{-1}) \quad (III.13)$$

Par opposition la CAPE, on définit également ce qu'on appelle l'indice de l'énergie d'inhibition de la convection ou « EIC » (de l'anglais Convective Inhibition Energie ou CINE). La CINE est la quantité d'énergie par unité de masse qui doit être fournie à une particule pour vaincre la force de flottabilité négative qui s'exerce sur elle, et atteindre le niveau NCL. Elle donnée par l'intégrale suivante :

$$CINE = \int_{Z=0}^{NCL} \frac{(T_{VP} - T_{Ve})}{T_{Ve}} \times g \times dz \quad (J \cdot K_g^{-1}) \quad (III.14)$$

Sur un diagramme thermodynamique ,la CAPE est proportionnelle à l'air comprise entre la courbe d'état de l'air environnant et l'iso- θ'_w issue du point de condensation de la particule en surface, d'une part, et les niveaux NCL et NE, d'autre part, ou, plus simplement, l'air comprise entre la trajectoire de la particule en surface en instabilité conditionnel, la courbe d'état et les niveaux NCL et NE. Cette air est appelé aire positive. La CINE, elle est proportionnelle à l'aire comprise entre la courbe d'état et la trajectoire suivie par la particule en surface soulevée adiabatiquement jusqu'au niveau NCL. Cette aire est appelée aire négative.

Maintenant, en combinant l'équation :

$$dP = -\rho_e \times g \times dz \quad (III.15)$$

de l'équilibre hydrostatique et l'équation :

$$P = \rho_e \times R_a \times T_{Ve} \quad (III.16)$$

d'état des gaz parfaits pour l'air humide environnant ayant une température virtuelle T_{Ve} :

$$dP = -\rho_e \times g \times dz \text{ et } P = \rho_e \times R_a \times T_{Ve} = \rho_e \times R_a \times T_{Ve} \quad (III.17)$$

on tire :

$$dz = -\frac{dP}{\rho_e \times g} = -\frac{R_a \times T_{Ve}}{g} \times \frac{dP}{P} \quad (\text{III.18})$$

En remplaçant, dans les équations (III.12) et (III.13), dz par sa valeur ci-dessus, ces équations deviennent :

$$CAPE = -R_a \times \int_{P_{NCL}}^{P_{NE}} (T_{VP} - T_{Ve}) \times \frac{dP}{P} = -R_a \times \int_{P_{NCL}}^{P_{NE}} (T_{VP} - T_{Ve}) \times d\text{Log}_n P \quad (\text{III.19})$$

et :

$$CINE = -R_a \times \int_{P_{Surface}}^{P_{NCL}} (T_{VP} - T_{Ve}) \times \frac{dP}{P} = -R_a \times \int_{P_{Surface}}^{P_{NCL}} (T_{VP} - T_{Ve}) \times d\text{Log}_n P \quad (\text{III.20})$$

Les critères de manifestations d'orages en utilisant la CAPE varient, comme pour les autres indices d'une étude à l'autre et nécessaire également d'être ajustés selon les conditions locales. Parmi ces critères, on peut être les suivants, Tableau (III.6) :

Tableau(III.6): Critères de manifestations d'orages en utilisant la CAPE.

| CAPE ($J \cdot K_g^{-1}$) | Stabilité / Instabilité |
|-----------------------------|-------------------------|
| $0 > CAPE$ | Stable |
| $1000 \geq CAPE \geq 0$ | Marginalement instable |
| $2500 \geq CAPE \geq 1000$ | Modérément instable |
| $3500 \geq CAPE \geq 2500$ | Très instable |
| $CAPE > 3500$ | Extrêmement instable |

CHAPITRE IV
ANALYSE DES MESURES DE
SONDAGES – STATION DE
BECHAR

IV.1 - Introduction

Pour comprendre les phénomènes météorologiques et pour les prévoir, l'atmosphère est soumise à une surveillance constante par des réseaux de mesures au niveau du sol qui doivent être les plus denses possibles, étant donné la grande variabilité spatiale des phénomènes. Mais pour réussir à comprendre certains mécanismes atmosphériques, il est nécessaire de connaître aussi les paramètres météorologiques en altitude, c'est pourquoi, on utilise des radiosondes. Ce type d'appareil peut fournir des profils verticaux de pression, de température, d'humidité et de vent.

Dans ce chapitre nous allons analyser le passage d'une perturbation atmosphérique orageuse sur la ville de Béchar (Algérie), de 25 à 27 Septembre 2018 où les quantités de précipitations enregistrées est de 88 mm (14 mm le 26 et 74 mm le 27), voir Figure (IV.1). Dans cette analyse nous utilisons les données en surface enregistrées par la station météorologique de Béchar ainsi que les données en altitude fournies par les mesures de sondage fournis par un centre international spécialisé.

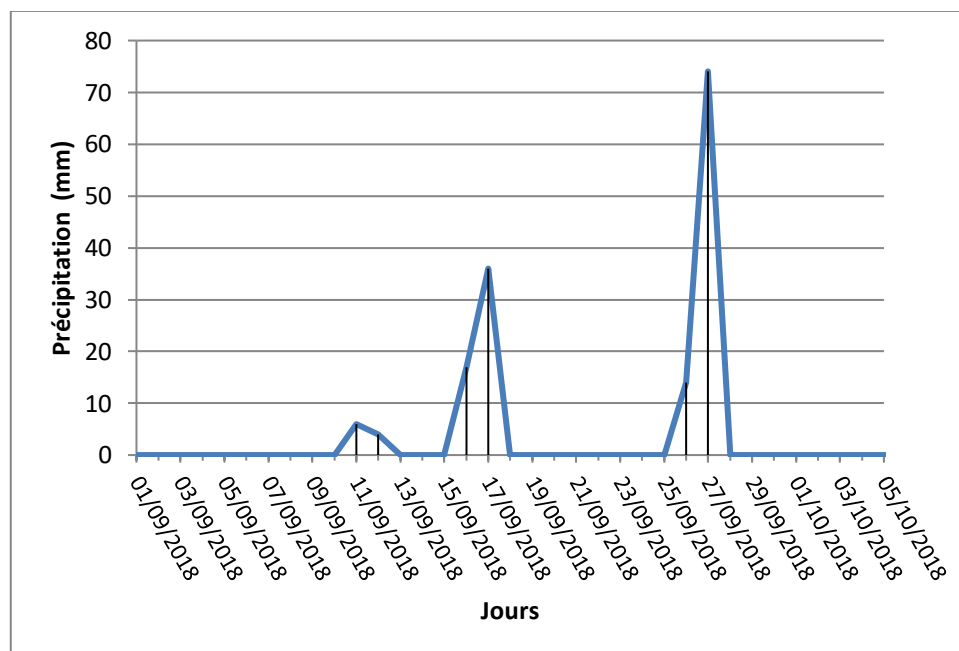


Figure (IV.1) : Quantité de pluie enregistrées lors de la perturbation orageuse, Béchar le 25, 26 et 27 Septembre 2018.

IV.2 – Présentation des données climatiques

L'acquisition des données est faite à partir de deux sources, à savoir l'Office National de la Météorologie (ONM) pour les données en surface, et à partir de site web de l'université de Wyoming (USA), département des Sciences atmosphériques, qui héberge et donne accès à l'une des archives des données de radiosondage les plus importantes de la planète, disponible en ligne à partir de site web:

<http://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding>.

Une station a été retenue dans cette étude à savoir la station de Béchar¹ dont la période choisie est (2008 - 2018). En addition aux données en altitude², les données climatologiques retenues dans cette étude comprennent les observations quotidiennes des précipitations en (mm).

IV.3 - Localisation géographique

La wilaya de Béchar est située à l'ouest de l'Algérie en plein désert saharien, à la frontière marocaine. Elle s'étend sur une superficie de 161400 Km². La wilaya est caractérisée par un climat de type désertique continental [13]:

Très chaud en été (+ 45°C) et froid rude en hiver (2°C à 3°C). Les vents de sable sont fréquents et souvent violents (100 km/h). Elle est limitée par, voir Figure (IV.2) :

- Au Nord, la wilaya de Naâma et de El Bayadh;
- A l'Est, la wilaya de Adrar;
- A l'Ouest le territoire marocain;
- Au Sud, les wilayas de Tindouf et de Adrar.

¹La station synoptique de Béchar est située aux coordonnées géographiques 31°62'N, 02°23'W et d'altitude de 773 m au dessus de niveau de la mer.

² Les données de radiosondage, pour les journées de 25, 26 et 27 Septembre 2018, sont indiquées en annexe.



Figure (IV.2) : Localisation géographique de wilaya de Béchar.

IV.4 - Régime de pluviosité à Béchar

Avant de passer au traitement des données de sondage, il est préférable de caractériser le régime des précipitations du site de Béchar aux échelles mensuelle, saisonnière et annuelle. Les données de la pluviosité journalière, utilisées dans cette étude, sont mesurées à la station synoptique de Béchar, elles s'étendent de 2008 à 2018, soit 11 ans de données.

IV.4.1 - Régime mensuel

La Figure (IV.3) indique les valeurs moyennes mensuelles des quantités des précipitations enregistrées à la station de Béchar au cours de la période 2008 - 2018. On constate que le mois de Novembre est le mois le plus pluvieux, avec une valeur de 27.8 mm, et que les mois de Juin et Juillet sont les mois les plus secs avec des valeurs inférieures à 5 mm.

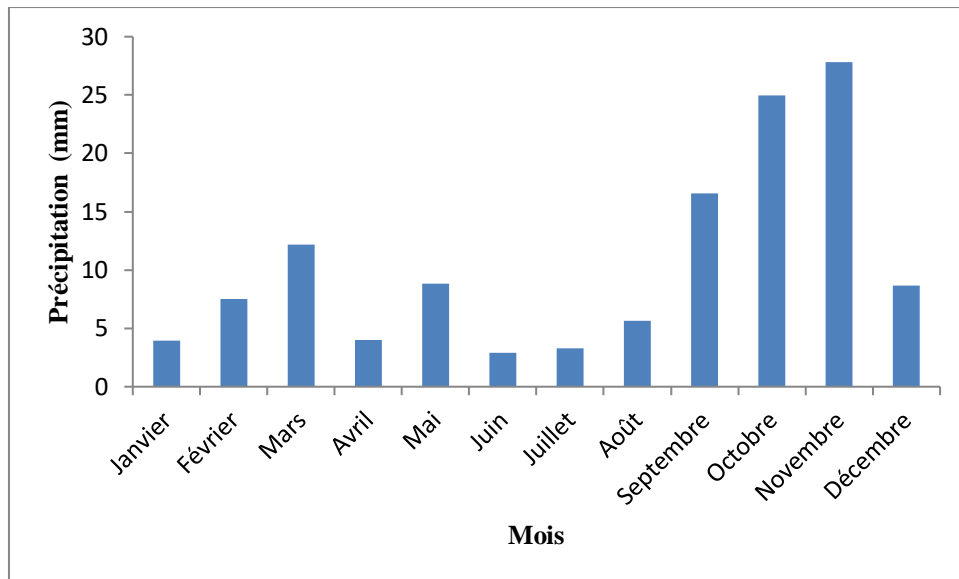


Figure (IV.3): Régime mensuel des précipitations à Béchar (2008 – 2018)

IV.4.2 - Régime saisonnier

L'étude de la variabilité saisonnière est indispensable, pour voir si la baisse ou la hausse de la pluviométrie est spécifique à une saison particulière ou à plusieurs saisons, cela permet de mieux visualiser la chronologie des totaux de pluies saisonnières dans le temps.

La Figure (IV.4) montre bien qu'en général les pluies dominantes d'automne règnent sur la majeure partie de Béchar avec 250.8 mm, et la saison d'été est la saison la moins arrosée avec 46.9 mm. Le régime saisonnier des précipitations de Béchar durant la période (2008-2018) est de type A.P.H.E. (Automne, Printemps, Hiver, Eté).

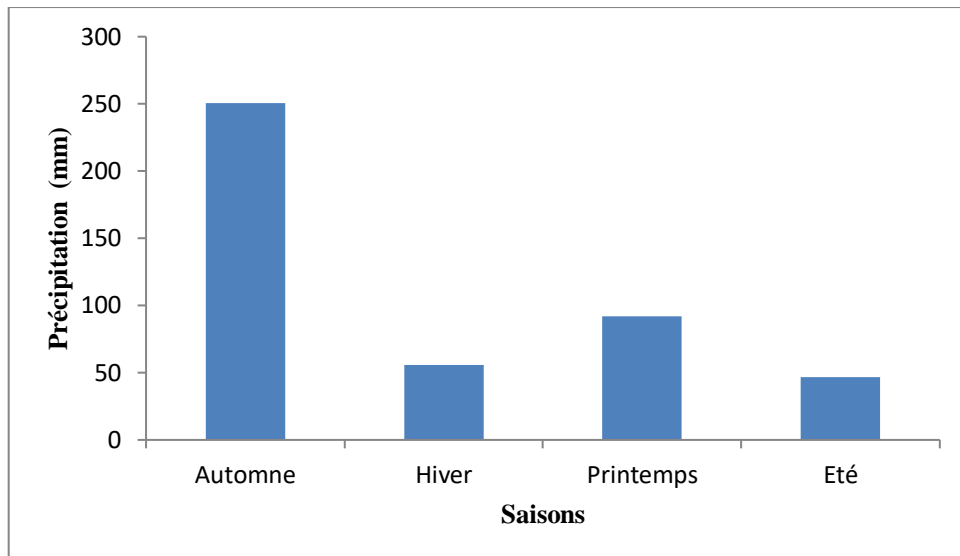


Figure (IV.4) : Régime saisonnier des précipitations à Béchar (2008 – 2018).

IV.4.2.1 - Saison d'hiver

La Figure (IV.5) illustre les moyennes saisonnières des précipitations enregistrées à la station de Béchar en saison d'hiver au cours de la période 2008 -2018. On note que les saisons d'hiver de 2017 et 2018 sont les plus pluvieuses, avec 59.6 mm et 34.5 mm respectivement. Cependant la moyenne saisonnière pour le reste des années ne dépasse pas les 30 mm.

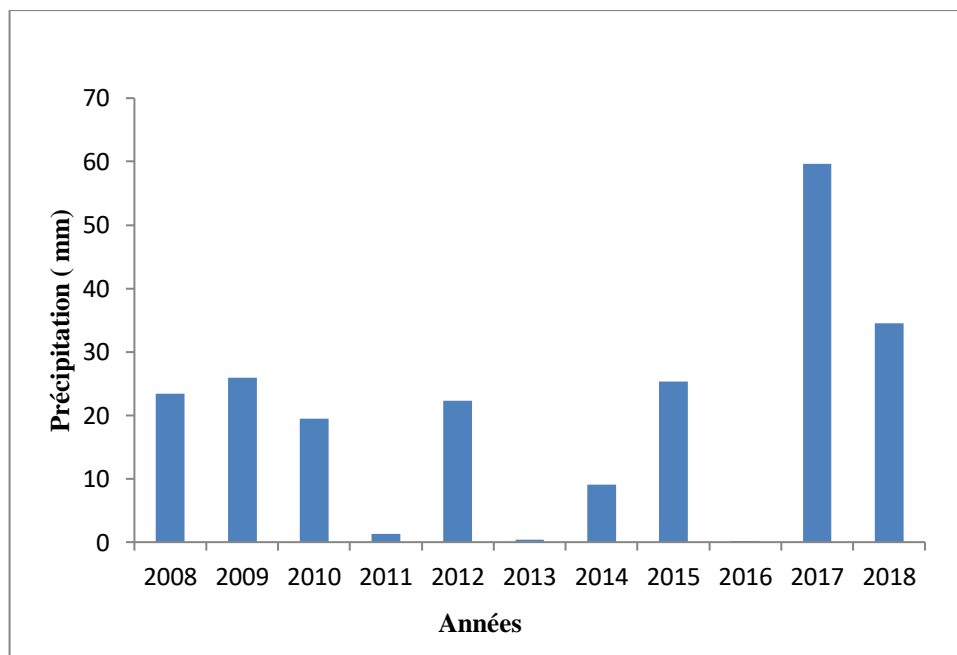


Figure (IV.5): Régime hivernal des précipitations à Béchar (2008 – 2018).

IV.4.2.2 - Saison de printemps

La Figure (IV.6) indique les moyennes saisonnières des précipitations enregistrées à la station de Béchar en saison de printemps au cours de la période 2008 -2018. On note que les saisons des années 2009, 2011 et 2012 les précipitations dépassent les 50 mm respectivement 74.9, 53.5 et 52.5 mm. Cependant pour le reste des années les précipitations saisonnières ne dépassent pas les 20 mm.

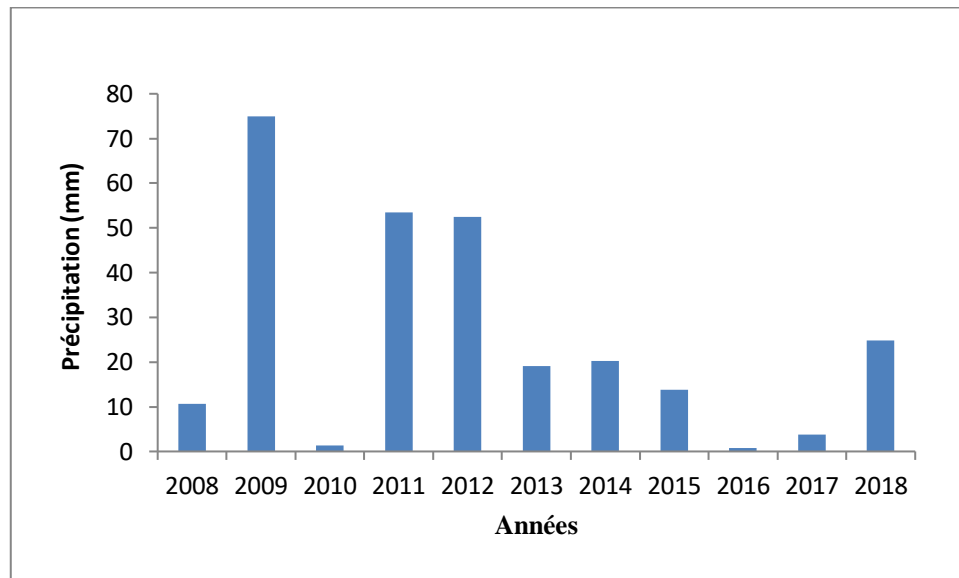


Figure (IV.6): Régime des précipitations de printemps à Béchar (2008 – 2018).

IV.4.2.3 - Saison d'été

La Figure (IV.7) montre les moyennes saisonnières des précipitations enregistrées à la station de Béchar en saison d'été au cours de la période 2008 -2018. On note que la saison d'été de l'année 2018 est la plus arrosée, avec une valeur de 29 mm. Cependant pour le l'été de reste des années ont enregistrées des valeurs inférieures à 20 mm.

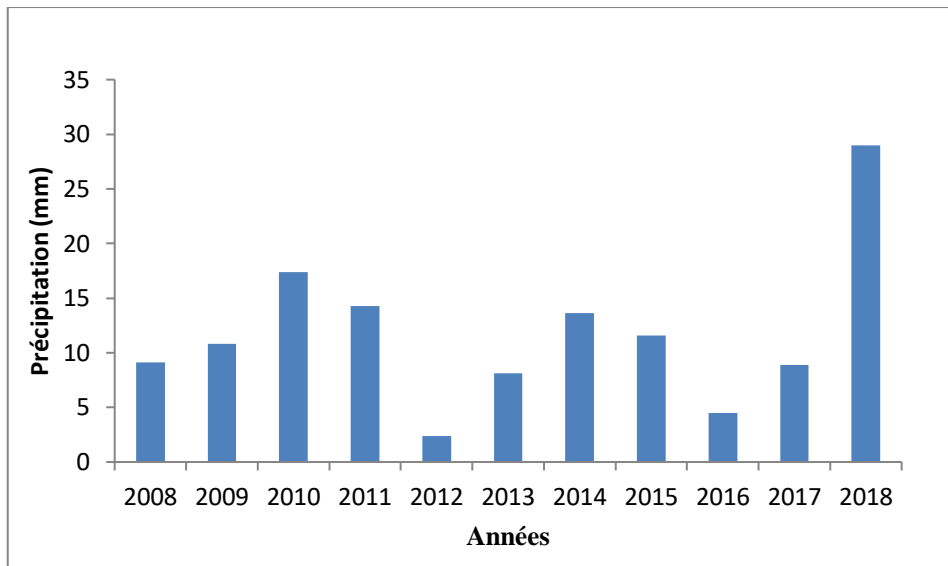


Figure (IV.7) : Régime estival des précipitations à Béchar (2008 – 2018).

IV.4.2.4 - Saison d'automne

La saison d'automne à Béchar est la saison la plus arrosée, avec des quantités atteignant les 200 mm aux années 2008 et 2014, entre 50 à 100 mm aux années 2009, 2011 et 2012. Cependant des quantités inférieures à 50 mm aux années 2010, 2013, 2015, 2016, 2017 et 2018, voir Figure (IV.8).

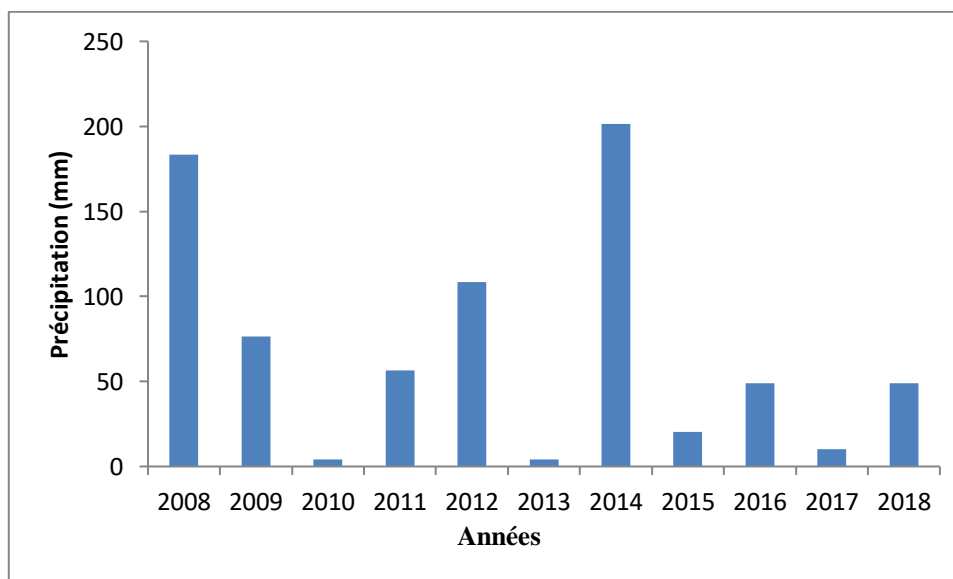


Figure (IV.8) : Régime des précipitations d'automne à Béchar (2008 – 2018).

IV.4.5 - Régime annuel des précipitations

Le régime annuel des précipitations à Béchar au cours de la période 2008 – 2018 montre bien l'absence des cycles pluvieux. On remarque que les années 2008, 2009, 2011, 2012, 2014, 2016 et 2018 ont enregistrées des quantités entre 100 et 250 mm par an. Cependant le reste des années ont enregistrées des quantités inférieures à 100mm, voir Figure (IV.9).

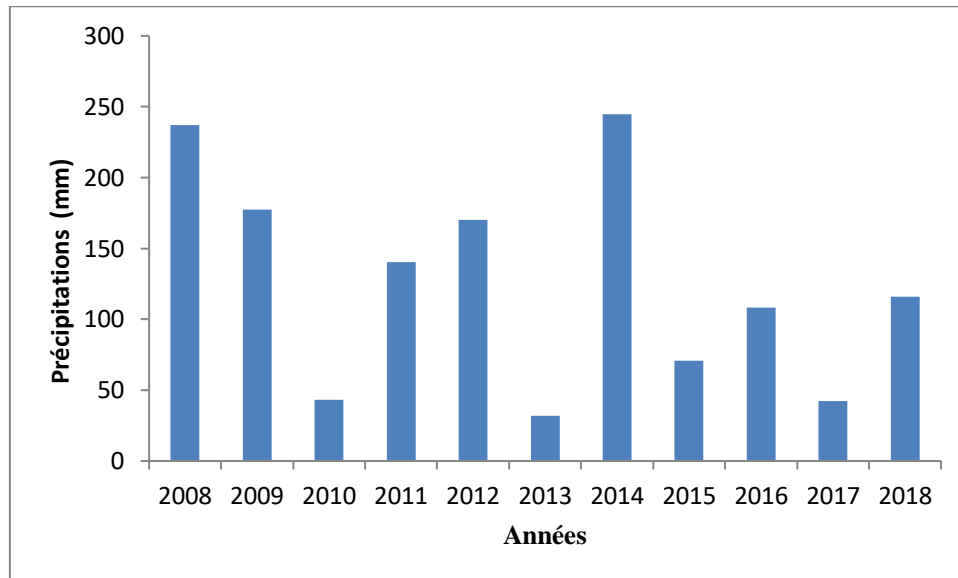


Figure (IV.9): Régime annuel des précipitations à Béchar (2008 – 2018).

IV.4.6. Indice Pluviométrique Standardisé (SPI)

Traditionnellement, l'indice pluviométrique standardisé SPI [14] est calculé de la manière suivante :

$$SPI = \frac{P_i - P}{\sigma} \quad (IV.1)$$

Avec :

P_i : Quantités de précipitation (mm) de l'année i ;

P : moyenne interannuelle des quantités de précipitations (mm);

σ : L'écart type des quantités de précipitations (mm) .

Une année est dite humide si SPI (sans unité) est supérieur à 0 et sèche s'il est inférieur à 0, l'indice est présenté par Figure (IV.10) suivante. On note que les années 2008, 2009 et 2014 ont été très pluvieuses. Cependant les années vers la fin de la période sont sèches, on remarque bien qu'il y a une tendance à la sécheresse.

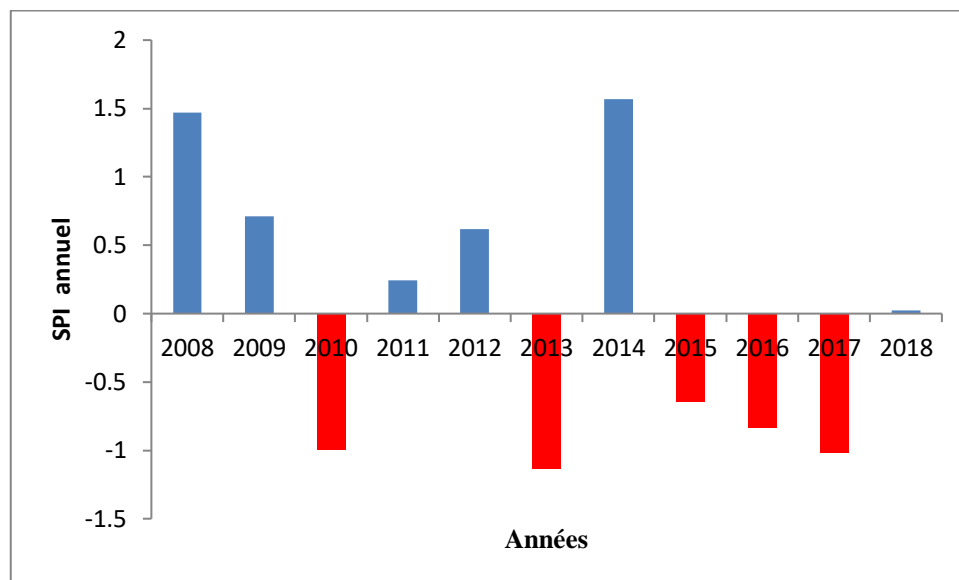


Figure (IV.10) : L'indice pluviométrique standardisé SPI annuel, Béchar (2008 – 2018).

IV.5 - Présentation des données de sondage - Béchar fin septembre 2018

Les mesures de sondages pour les journées 25, 26 et 27 Septembre 2018 à 00H TU (heure qui correspond au début de la journée – matin très tôt), acquises à partir de site web <http://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding>, sont présentées par le diagramme climatologique Skew_T, voir Figures (IV.11.A, B et C) suivantes :

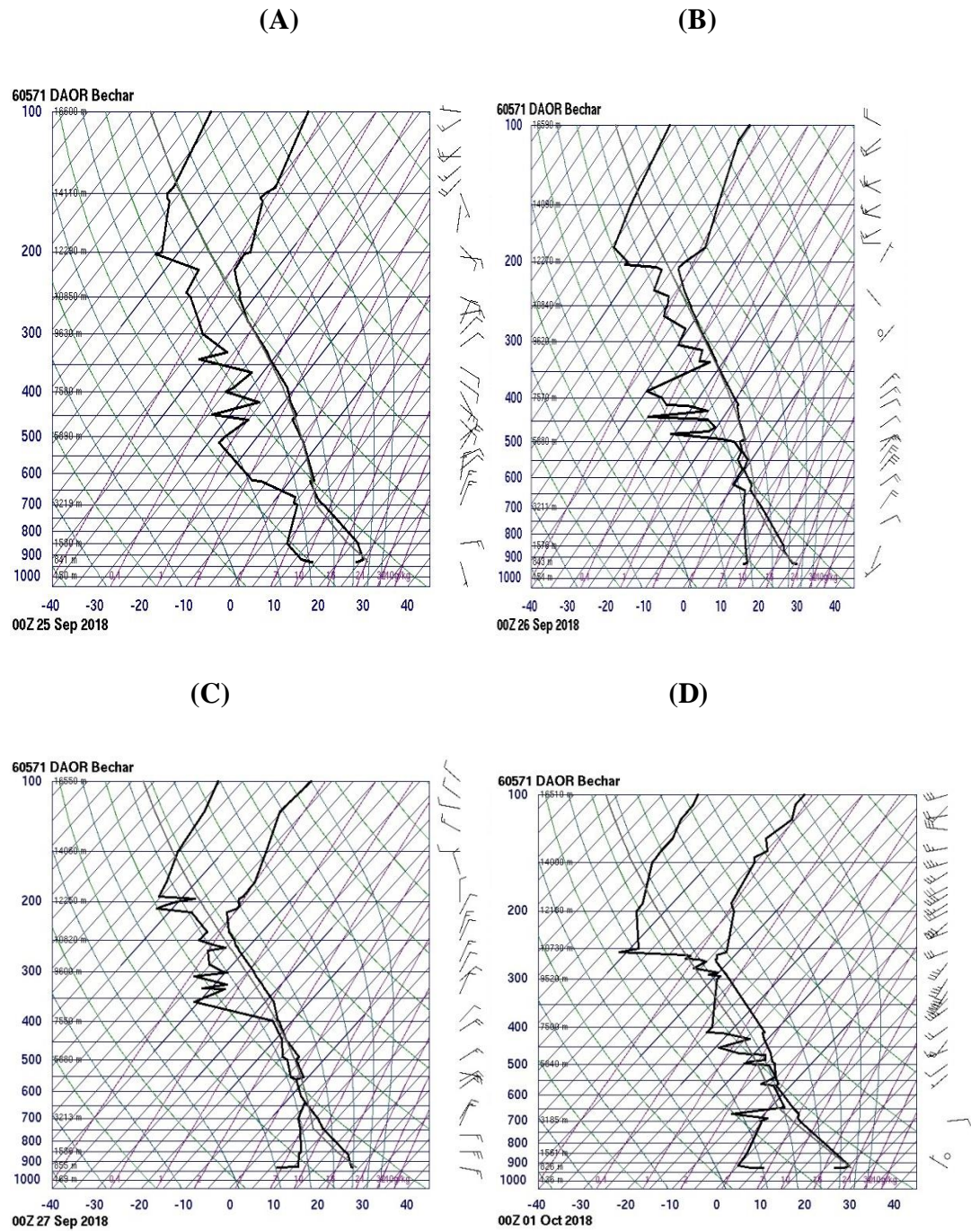


Figure (IV.11) : Diagramme Skew_T, (A) – le 25/09/2018, (B) – le 26/09/2018 et (C) – le 27/09/2018,(D)_ le 01/10/2018, Station de Béchar.

IV.6 - Etude de la stabilité atmosphérique - Situation de fin septembre 2018 à Béchar

Dans cette étude de stabilité atmosphérique, pour les journées pluvieuses de 25 à 27 Septembre 2018, nous disposons des valeurs des indices de stabilités (fournis par le site web des mesures de sondage), tels que indice Total Total (ITT), indice de

soulèvement (Lifting Index ou l'Indice KI), indice de SWEAT, indice de Showalter et les indices CAPE et CINE. Nous avons tout de même calculés de notre part ces mêmes indices en utilisant les équations présentées en Chapitre III précédant. Les résultats sont présentés dans les Tableaux (IV.1, 2, et 3) suivants :

- **Journée de 25/09/2018 à 00Z**

D'après le degré des risques, dernière colonne de Tableau (IV.1), les constatations des indices de stabilité atmosphériques sont classées d'après leurs gravités : classe Fort et qui concernent les indices ITT et KI, classe Moyen et qui concerne l'indice de Showalter et enfin classe Faible et qui concerne les indices de SWEAT et CAPE. Cette journée n'a pas enregistré aucune précipitation (0 mm) malgré les risques de formation d'orage signalés par quelques indices (ITT et KI), ceci peut être expliqué par le fait que les conditions atmosphériques conduisant aux précipitations ne sont pas remplies (par exemple baisse de température de la couche juste au-dessous de la base de nuage, etc.)

Tableau (IV.1) : Indices de stabilité atmosphériques, Béchar journée de 25/09/2018.

| Indices | Valeurs | Vérification | Erreur Relative (%) | Observations | Degré des risques |
|---------------------------------|---------|--------------|---------------------|----------------------------------------------------|-------------------|
| Indice Total Totals(ITT) | 47,40 | 47,4 | 0% | Orages dispersés / orages forts isolés | Fort |
| Indice KI | 31,10 | 31,1 | 0% | 60 à 80 % de probabilité de développement d'orages | Fort |
| Indice de Showalter | 1,37 | 2,20 | 37,72% | Risque d'averses et d'orages | Moyen |
| Indice SWEAT | 103,79 | 103,8 | 0,009% | Orages peu probables | Faible |
| CAPE | 15,49 | 588,87 | 97,36% | Marginalement instable | Faible |
| CINE | -179,98 | -104,27 | -72,62% | | - |

- **Journée de 26/09/2018 à 00Z**

Les précipitations enregistrées pour cette journée est de 14 mm, qui correspond mieux avec les constatations des indices ITT et KI, de degré de risque « Très fort »,

cependant avec un degré de risque « moyen » pour Showalter, et enfin « faible » avec les indices SWEAT et CAPE (Pour ces deux derniers classes, c'est la même remarque qu'avec la journée de 25 Septembre)

Tableau (IV.2) : Indice de stabilité, Béchar journée de 26/09/2018.

| Indices | Valeurs | Vérification | Erreur Relative (%) | Observations | Degré des risques |
|---------------------------------|---------|--------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Indice Total Totals(ITT) | 50,20 | 50,20 | 0% | Nombreux orages forts dispersés / Quelques tornades fortes isolées | Très fort |
| Indice KI | 34,10 | 34,10 | 0% | 60 à 80 % de probabilité de développement d'orages | Très Fort |
| Indice de Showalter | -0,76 | -0,80 | 5% | Averses et orages probables | Moyen |
| Indice SWEAT | 150,01 | 150,00 | -0,006% | Orages peu probables | Faible |
| CAPE | 90,21 | 2445,88 | 96,31% | Marginalement instable | Faible |
| CINE | -149,34 | -139,19 | -7,29% | | - |

- Journée de 27/09/2018 à 00Z

Les précipitations enregistrés pour cette journée est de 74 mm, qui correspond mieux encore une fois avec les constatations des indices ITT et KI, de degré de risque « Très fort », cependant avec un degré de risque « moyen » pour Showalter et « faible » avec les indices SWEAT et CAPE (Pour ces deux derniers classes, c'est la même remarque qu'avec les journées de 25 et 26 Septembre).

Tableau (IV.3): Indice de stabilité, Béchar journée de 27/09/2018.

| Indices | Valeurs | Vérification | Erreur Relative (%) | Observations | Degré des risques |
|---------------------------------|---------|--------------|---------------------|----------------------------------------------------|-------------------|
| Indice Total Totals(ITT) | 49,40 | 49,40 | 0% | orages forts dispersés / Quelques tornades isolés | Très Fort |
| Indice KI | 33,90 | 33,90 | 0% | 60 à 80 % de probabilité de développement d'orages | Très Fort |
| Indice de Showalter | -0,23 | -0,20 | -15% | Averses et orages probables | Moyen |
| Indice SWEAT | 173,22 | 173,20 | -0,0115% | Orages peu probables | Faible |
| CAPE | 45,78 | //// | | Marginalement instable | Faible |
| CINE | -153,00 | //// | | | - |

- Journée de 01/10/2018 à 00Z

Cette journée à été choisi comme une journée non orageuse (atmosphère stable), aucune précipitations n'a été enregistrés et absence des niveaux NCL et NE, ce qui correspond à l'absence de formation des nuages. Ceci était confirmé par les degrés de risques déclaré par l'ensemble des indices, et qui ont de l'ordre « moyen », « faible », « très faible ».

Tableau (IV.4): Indice de stabilité, Béchar journée de 01/10/2018.

| Indices | Valeurs | Vérification | Erreur Relative (%) | Observations | Degré des risques |
|---------------------------------|---------|--------------|---------------------|----------------------------------------------------|--------------------|
| Indice Total Totals(ITT) | 45,00 | 45,00 | 0 % | Orage dispersés | Moyen |
| Indice K | 22,90 | 22,90 | 0 % | 20 à 40 % de probabilité de développement d'orages | Faible |
| Indice de Showalter | 3,32 | 3.8 | -74,73 % | Ni averses ni orage | Très faible |
| Indice SWEAT | 15,99 | 16,00 | 0,06 % | Orages peu probables | Faible |
| CAPE | 0 | 0 | 0% | Marginalement instable | Faible |
| CINE | 0 | 0 | 0% | | |

IV.7 Test de sensibilité des indices de stabilité

Ce test repose sur la réponse de chaque indice au cours des deux situations atmosphériques : orageuse (le 25, 26 et 27 Septembre 2018) et stable (le 01 Octobre 2018), voir Tableau (IV.5) suivant :

Tableau (IV.5) : Test de sensibilité des indices de stabilité

| Degré de risque | Situation orageuse (25, 26 et 27 Septembre 2018) | Situation stable (01 Octobre 2018) | Sensibilité |
|-------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------|-------------|
| Indice TTI | Fort / Très fort | Moyen | Fort |
| Indice KI | Fort / Très fort | faible | Fort |
| Indice Showalter | Moyen | Très faible | Moyen |
| SWEAT | Faible | faible | Faible |
| CAPE | Faible | Faible | Faible |

On remarque, pour le site de Bechar, que les indice TTI et KI ont une sensibilité « fort » en vers les différentes situations atmosphériques, elle est « moyen » pour l'indice Showalter et faible pour les indices SWEAT et CAPE.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude nous avons étudiés la stabilité atmosphérique au moyen des mesures de sondages et les diagrammes thermodynamiques utilisés en météorologie. Le site de Béchar (Région Sud-ouest de l'Algérie) à était choisi, vue la disponibilité des données sol est en altitude (l'Office National de la Météorologie (ONM) pour les données en surface, et le site web spécialisé en météorologie: <http://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding>). La situation orageuse et celle stable qui ont marquée fin Septembre et début Octobre 2018, ont étaient retenus comme périodes d'étude. L'étude à permis d'abord de caractérisé les régimes de pluviosité (mensuel, saisonnier et annuel) à partir d'une série de mesures de précipitation au cours de la période 2008 à 2018. Cependant, l'étude de stabilité atmosphérique au cours de la période orageuse et celle stable, au moyen des indices de stabilité (l'indice Total – Total (TTI), l'indice KI, l'indice de Showalter, l'indice SWEAT et le l'indice CAPE) ont montré qu'il y a une disparité entre les constatations de ces indices pour la même situation. L'étude de sensibilité menée (le cas de Béchar) au cours de notre discussion avait conclus que les indice TTI et KI ont une sensibilité « fort » en vers les différentes situations atmosphériques, elle est « moyen » pour l'indice Showalter et faible pour les indices SWEAT et CAPE.

Comme perspective à cette étude, on propose de menée d'autres d'études avec les mêmes indices mais appliquées sur d'autres périodes et d'autres lieux (Tindouf, In Salah et Tamanrasset).

Références bibliographiques

BIBLIOGRAPHIES

- [1] Jean-Marie Lalande, 2012 «Caractérisation des vents dans la moyenne atmosphère et basse thermosphère à partir d'observations d'ondes infrasonores » Thèse de doctorat, École Centrale de Lyon.
- [2] <http://radiosonde.eu/index.html>, consulté le 05/02/2020.
- [3] Emeric Hache, 2014 « Apport de la bande de Chappuis pour la mesure de l'ozone depuis un satellite géostationnaire pour la surveillance de la qualité de l'air » thèse doctorat, Université de Toulouse 3.
- [4] OMM, 2008 « Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques», WMO N°8.
- [5] Michel Rochas et Michel Lagadec, 1994, «La radiosonde à 65 ans », La Météorologie N° 6
- [6] Michel LEROY et Pierre GRÉGOIRE, 2005 « Mesures en météorologie », Météo France, Direction de la Météorologie nationale.
- [7] Jean-Louis Gaume, 2002, «L'observation in situ en altitude », La Météorologie N°39
- [8] Hassen SAÏDI, Cours de thermodynamique de l'atmosphère, Centre de publication universitaire, Manouba, Tunisie, 2011, 249 p.
- [9] www.wikifr.com (consulté le 23/02/2020)
- [10]<http://www.wladbladi.net/threads/météorologie-en-cours.120728/page-13>, consulté le 23/02/2020.
- [11]Enrico Torlaschiet Eva Monteiro, Introduction à la thermodynamique de l'atmosphère, Notes de cours thermodynamique de l'atmosphère PHY4501
- [12]<http://www.astrosurf.com/luxorion/meteo-stabiliteinstabilite.htm>,consulté:Le22/05/2020
- [13]<http://monographies.caci.dz/index.php?id=308>.
- [14] McKee TB, Nolan J, Kleist J (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales. Prepr Eighth Conf Appl Climatol Amer Meteor, Soc, 179-184. <https://climate.colostate.edu/pdfs/relationshipofdroughtfrequency.pdf>

ANNEXES

La station synoptique de Béchar est située aux coordonnées géographiques 31°62'N, 02°23'W et d'altitude de 773 m au-dessus de niveau de la mer. Les données de radiosondage, pour les journées de 25, 26 et 27 Septembre 2018, sont indiquées dans les tableaux suivants.

Le 25/09/2018 à 00Z

| PRES hPa | HGHT m | TEMP C | DWPT C | RELH % | MIXR g/kg | DRCT deg | SKNT knot | THTA K | THTE K | THTV K |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| 929 | 816 | 24,2 | 14,2 | 54 | 11,07 | 160 | 4 | 303,7 | 336,9 | 305,7 |
| 925 | 841 | 24,8 | 12,8 | 47 | 10,14 | 170 | 5 | 304,7 | 335,3 | 306,5 |
| 920 | 889 | 25,4 | 11,4 | 42 | 9,28 | 168 | 7 | 305,8 | 334 | 307,5 |
| 915 | 936 | 25,1 | 11 | 41 | 9,08 | 165 | 10 | 305,9 | 333,6 | 307,6 |
| 850 | 1580 | 21,4 | 5,4 | 35 | 6,66 | 85 | 15 | 308,6 | 329,3 | 309,8 |
| 848 | 1600 | 21,4 | 5,4 | 35 | 6,67 | 84 | 15 | 308,8 | 329,6 | 310 |
| 700 | 3219 | 6,8 | 0,8 | 66 | 5,83 | 25 | 17 | 310 | 328,3 | 311,1 |
| 692 | 3313 | 5,7 | -0,3 | 65 | 5,45 | 20 | 18 | 309,8 | 327 | 310,8 |
| 691 | 3325 | 5,6 | -0,4 | 65 | 5,41 | 20 | 18 | 309,8 | 326,9 | 310,8 |
| 674 | 3528 | 4 | -0,9 | 70 | 5,34 | 23 | 17 | 310,2 | 327,1 | 311,2 |
| 665 | 3637 | 3,3 | -2,7 | 65 | 4,75 | 25 | 17 | 310,6 | 325,7 | 311,5 |
| 647 | 3858 | 1,8 | -6,3 | 55 | 3,71 | 40 | 14 | 311,3 | 323,3 | 312 |
| 623 | 4162 | -0,3 | -11,3 | 43 | 2,6 | 14 | 13 | 312,4 | 320,9 | 312,8 |
| 620 | 4201 | 0,4 | -13,6 | 34 | 2,17 | 11 | 13 | 313,6 | 320,9 | 314 |
| 619 | 4214 | 0,3 | -13,7 | 34 | 2,15 | 10 | 13 | 313,6 | 320,9 | 314,1 |
| 590 | 4591 | -2 | -17,3 | 30 | 1,67 | 55 | 11 | 315,3 | 321 | 315,6 |
| 554 | 5087 | -5,1 | -22,1 | 25 | 1,19 | 70 | 12 | 317,4 | 321,5 | 317,6 |
| 531 | 5421 | -7,1 | -25,2 | 22 | 0,93 | 40 | 12 | 318,8 | 322,1 | 318,9 |
| 514 | 5677 | -8,7 | -27,7 | 20 | 0,77 | 51 | 11 | 319,8 | 322,6 | 320 |
| 508 | 5768 | -9,4 | -27,5 | 21 | 0,79 | 55 | 10 | 320,1 | 323 | 320,2 |
| 500 | 5890 | -10,3 | -27,3 | 23 | 0,82 | 70 | 9 | 320,4 | 323,4 | 320,6 |
| 494 | 5983 | -11 | -27 | 25 | 0,85 | 90 | 10 | 320,7 | 323,8 | 320,9 |
| 460 | 6529 | -15 | -25,2 | 42 | 1,08 | 130 | 10 | 322,3 | 326,2 | 322,5 |
| 459 | 6546 | -15,1 | -25,1 | 42 | 1,09 | 130 | 10 | 322,4 | 326,3 | 322,6 |
| 448 | 6730 | -15,1 | -34,1 | 18 | 0,48 | 128 | 11 | 324,6 | 326,4 | 324,7 |
| 427 | 7092 | -17,8 | -27,2 | 44 | 0,97 | 125 | 13 | 325,6 | 329,1 | 325,8 |
| 422 | 7181 | -18,5 | -25,5 | 54 | 1,14 | 131 | 12 | 325,8 | 330 | 326,1 |
| 411 | 7378 | -19,7 | -30,1 | 39 | 0,76 | 145 | 10 | 326,8 | 329,6 | 326,9 |
| 400 | 7580 | -20,9 | -34,9 | 27 | 0,5 | 145 | 8 | 327,7 | 329,6 | 327,8 |
| 392 | 7729 | -21,9 | -33,9 | 33 | 0,56 | 136 | 9 | 328,3 | 330,5 | 328,4 |
| 379 | 7974 | -24 | -33,3 | 42 | 0,61 | 120 | 10 | 328,8 | 331,1 | 328,9 |
| 367 | 8209 | -26 | -32,7 | 54 | 0,67 | 135 | 14 | 329,1 | 331,7 | 329,3 |
| 364 | 8268 | -26,5 | -32,5 | 57 | 0,69 | 130 | 13 | 329,2 | 331,8 | 329,4 |
| 355 | 8447 | -28 | -37,7 | 39 | 0,42 | 115 | 10 | 329,5 | 331,1 | 329,6 |
| 347 | 8610 | -29,4 | -42,5 | 27 | 0,26 | 120 | 12 | 329,8 | 330,8 | 329,8 |
| 340 | 8756 | -30,7 | -46,7 | 19 | 0,17 | 105 | 12 | 330 | 330,7 | 330 |

| PRES hPa | HGHT m | TEMP C | DWPT C | RELH % | MIXR g/kg | DRCT deg | SKNT knot | THTA K | THTE K | THTV K |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| 329 | 8988 | -32,5 | -41,5 | 40 | 0,31 | 82 | 11 | 330,6 | 331,9 | 330,7 |
| 319 | 9203 | -34,4 | -44,4 | 36 | 0,23 | 60 | 10 | 330,9 | 331,8 | 330,9 |
| 300 | 9630 | -38,3 | -50,3 | 27 | 0,13 | 50 | 9 | 331,3 | 331,8 | 331,3 |
| 285 | 9978 | -41,6 | -52,8 | 29 | 0,1 | 30 | 10 | 331,4 | 331,9 | 331,5 |
| 281 | 10074 | -42,5 | -53,5 | 29 | 0,09 | 46 | 10 | 331,5 | 331,9 | 331,5 |
| 273 | 10266 | -44 | -55 | 28 | 0,08 | 80 | 10 | 332,1 | 332,4 | 332,1 |
| 250 | 10850 | -48,5 | -59,5 | 27 | 0,05 | 110 | 8 | 333,8 | 334,1 | 333,8 |
| 245 | 10983 | -49,1 | -61,1 | 23 | 0,04 | 110 | 7 | 334,9 | 335,1 | 334,9 |
| 231 | 11366 | -51,9 | -61,9 | 29 | 0,04 | 110 | 5 | 336,3 | 336,5 | 336,3 |
| 219 | 11710 | -54,3 | -62,3 | 37 | 0,04 | 110 | 3 | 337,8 | 337,9 | 337,8 |
| 205 | 12132 | -54,8 | -72,6 | 9 | 0,01 | 95 | 10 | 343,4 | 343,5 | 343,4 |
| 202 | 12226 | -54,9 | -74,9 | 7 | 0,01 | 119 | 12 | 344,7 | 344,7 | 344,7 |
| 200 | 12290 | -53,9 | -73,9 | 7 | 0,01 | 135 | 14 | 347,2 | 347,3 | 347,2 |
| 194 | 12483 | -54,6 | -74,8 | 7 | 0,01 | 130 | 10 | 349,1 | 349,1 | 349,1 |
| 159 | 13745 | -59,4 | -80,4 | 5 | 0 | 190 | 1 | 361,4 | 361,4 | 361,4 |
| 156 | 13866 | -59,9 | -80,9 | 5 | 0 | 158 | 3 | 362,6 | 362,6 | 362,6 |
| 153 | 13987 | -61,1 | -82,1 | 5 | 0 | 125 | 6 | 362,6 | 362,6 | 362,6 |
| 150 | 14110 | -60,7 | -82,7 | 4 | 0 | 155 | 6 | 365,3 | 365,3 | 365,3 |
| 145 | 14320 | -59,5 | -82,5 | 4 | 0 | 192 | 13 | 370,9 | 371 | 370,9 |
| 140 | 14536 | -60 | -83 | 4 | 0 | 230 | 20 | 373,7 | 373,7 | 373,7 |
| 131 | 14943 | -61,1 | -83,8 | 3 | 0 | 235 | 14 | 379 | 379,1 | 379 |
| 125 | 15231 | -61,8 | -84,4 | 3 | 0 | 270 | 15 | 382,8 | 382,8 | 382,8 |
| 119 | 15533 | -62,6 | -85 | 3 | 0 | 235 | 10 | 386,8 | 386,8 | 386,8 |
| 115 | 15742 | -63,1 | -85,5 | 3 | 0 | 320 | 1 | 389,6 | 389,6 | 389,6 |
| 104 | 16359 | -64,7 | -86,8 | 3 | 0 | 245 | 13 | 398 | 398 | 398 |
| 100 | 16600 | -65,3 | -87,3 | 3 | 0 | 275 | 7 | 401,3 | 401,3 | 401,3 |
| 94 | 16978 | -64,9 | -87,6 | 3 | 0 | 0 | 0 | 409,3 | 409,3 | 409,3 |
| 90 | 17244 | -64,6 | -87,8 | 3 | 0 | 175 | 11 | 415 | 415 | 415 |
| 88 | 17381 | -64,4 | -87,9 | 3 | 0 | 185 | 14 | 417,9 | 418 | 417,9 |
| 86 | 17522 | -64,3 | -88 | 3 | 0 | 210 | 10 | 421 | 421 | 421 |
| 82 | 17813 | -64 | -88,2 | 2 | 0 | 175 | 3 | 427,4 | 427,4 | 427,4 |
| 79 | 18040 | -63,7 | -88,4 | 2 | 0 | 145 | 10 | 432,5 | 432,5 | 432,5 |
| 76,5 | 18237 | -63,5 | -88,5 | 2 | 0 | 189 | 10 | 437 | 437 | 437 |
| 74 | 18440 | -64 | -89 | 2 | 0 | 235 | 10 | 440,2 | 440,2 | 440,2 |
| 72 | 18608 | -64,3 | -89,3 | 2 | 0 | 235 | 11 | 442,9 | 442,9 | 442,9 |
| 70 | 18780 | -64,7 | -89,7 | 2 | 0 | 185 | 10 | 445,6 | 445,6 | 445,6 |
| 69 | 18868 | -65 | -89,8 | 2 | 0 | 165 | 12 | 446,9 | 446,9 | 446,9 |
| 68 | 18957 | -65,2 | -89,8 | 2 | 0 | 155 | 18 | 448,2 | 448,2 | 448,2 |
| 67 | 19047 | -65,5 | -89,9 | 2 | 0 | 165 | 20 | 449,6 | 449,6 | 449,6 |
| 66 | 19139 | -65,8 | -90 | 2 | 0 | 185 | 17 | 450,9 | 450,9 | 450,9 |
| 64,7 | 19260 | -66,1 | -90,1 | 2 | 0 | 208 | 12 | 452,7 | 452,7 | 452,7 |
| 64 | 19327 | -65,9 | -90,1 | 2 | 0 | 220 | 10 | 454,5 | 454,5 | 454,5 |
| 63 | 19423 | -65,7 | -90,1 | 2 | 0 | 275 | 4 | 457 | 457 | 457 |

| PRES hPa | HGHT m | TEMP C | DWPT C | RELH % | MIXR g/kg | DRCT deg | SKNT knot | THTA K | THTE K | THTV K |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 61 | 19621 | -65,2 | -90,2 | 2 | 0 | 5 | 10 | 462,3 | 462,3 | 462,3 |
| 58 | 19930 | -64,5 | -90,2 | 2 | 0 | 25 | 14 | 470,7 | 470,7 | 470,7 |
| 57 | 20037 | -64,2 | -90,2 | 2 | 0 | 60 | 14 | 473,6 | 473,6 | 473,6 |
| 54 | 20368 | -63,4 | -90,2 | 2 | 0 | 75 | 17 | 482,8 | 482,9 | 482,8 |
| 51 | 20719 | -62,6 | -90,3 | 1 | 0 | 50 | 12 | 492,8 | 492,8 | 492,8 |
| 50 | 20840 | -62,3 | -90,3 | 1 | 0 | 55 | 11 | 496,2 | 496,3 | 496,2 |
| 49 | 20965 | -61,5 | -90 | 1 | 0 | 75 | 3 | 501,1 | 501,1 | 501,1 |
| 48,1 | 21080 | -60,7 | -89,7 | 1 | 0 | 72 | 5 | 505,6 | 505,6 | 505,6 |
| 45 | 21495 | -60,5 | -89,5 | 1 | 0 | 60 | 10 | 515,8 | 515,8 | 515,8 |
| 43 | 21779 | -60,3 | -89,3 | 1 | 0 | 85 | 14 | 522,9 | 522,9 | 522,9 |
| 41 | 22075 | -60,2 | -89,2 | 1 | 0 | 65 | 16 | 530,5 | 530,5 | 530,5 |
| 39 | 22387 | -60 | -89 | 1 | 0 | 105 | 26 | 538,5 | 538,5 | 538,5 |
| 36 | 22886 | -59,8 | -88,8 | 1 | 0 | 85 | 16 | 551,6 | 551,7 | 551,6 |
| 35,3 | 23008 | -59,7 | -88,7 | 1 | 0 | 102 | 20 | 554,9 | 554,9 | 554,9 |
| 35 | 23062 | -59,8 | -88,8 | 1 | 0 | 110 | 22 | 556,1 | 556,1 | 556,1 |
| 34,4 | 23170 | -59,9 | -88,9 | 1 | 0 | 116 | 19 | 558,5 | 558,5 | 558,5 |
| 34 | 23244 | -59 | -88,8 | 1 | 0 | 120 | 17 | 562,7 | 562,7 | 562,7 |
| 33 | 23432 | -56,7 | -88,4 | 1 | 0 | 75 | 1 | 573,5 | 573,6 | 573,5 |
| 32,3 | 23567 | -55,1 | -88,1 | 1 | 0,01 | 69 | 2 | 581,4 | 581,5 | 581,4 |
| 30 | 24040 | -53,9 | -85,9 | 1 | 0,01 | 50 | 7 | 597,1 | 597,2 | 597,1 |
| 29,3 | 24192 | -53,3 | -85,3 | 1 | 0,01 | 40 | 10 | 602,8 | 602,9 | 602,8 |

Annexe II

Le 26/09/2018 à 00Z

| PRES hPa | HGHT m | TEMP C | DWPT C | RELH % | MIXR g/kg | DRCT deg | SKNT knot | THTA K | THTE K | THTV K |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| 929 | 816 | 25,6 | 11,6 | 42 | 9,31 | 240 | 4 | 305,1 | 333,4 | 306,8 |
| 925 | 843 | 24,4 | 12,4 | 47 | 9,87 | 195 | 9 | 304,2 | 334 | 306,1 |
| 923 | 862 | 24,2 | 12,3 | 47 | 9,83 | 195 | 10 | 304,3 | 334 | 306,1 |
| 907 | 1014 | 22,9 | 11,6 | 49 | 9,54 | 195 | 12 | 304,5 | 333,3 | 306,2 |
| 872 | 1356 | 20 | 10 | 53 | 8,91 | 204 | 6 | 304,9 | 331,9 | 306,5 |
| 850 | 1576 | 19 | 9 | 52 | 8,54 | 210 | 2 | 306 | 332,1 | 307,6 |
| 758 | 2541 | 11,7 | 4,6 | 62 | 7,08 | 70 | 10 | 308,3 | 330,2 | 309,6 |
| 700 | 3211 | 6,6 | 1,6 | 70 | 6,18 | 45 | 18 | 309,8 | 329,1 | 310,9 |
| 691 | 3316 | 5,7 | 1,2 | 73 | 6,08 | 45 | 20 | 309,9 | 329 | 311 |
| 641 | 3927 | 0,4 | -1,1 | 90 | 5,54 | 60 | 21 | 310,6 | 328,1 | 311,6 |
| 624 | 4142 | -0,4 | -4,8 | 72 | 4,3 | 65 | 22 | 312,1 | 325,9 | 312,9 |
| 622 | 4168 | -0,5 | -5,3 | 70 | 4,16 | 64 | 22 | 312,3 | 325,7 | 313,1 |
| 580 | 4723 | -4,7 | -5,7 | 93 | 4,35 | 50 | 29 | 313,7 | 327,8 | 314,5 |
| 574 | 4805 | -5,3 | -5,7 | 97 | 4,38 | 49 | 27 | 313,9 | 328,1 | 314,7 |
| 572 | 4833 | -5,3 | -6 | 95 | 4,29 | 48 | 27 | 314,2 | 328,1 | 315 |
| 557 | 5041 | -5,7 | -7,6 | 86 | 3,89 | 45 | 23 | 316,2 | 328,9 | 316,9 |
| 548 | 5169 | -5,9 | -8,6 | 81 | 3,66 | 46 | 21 | 317,4 | 329,5 | 318,1 |
| 527 | 5474 | -8,7 | -9 | 98 | 3,69 | 50 | 15 | 317,6 | 329,8 | 318,3 |
| 524 | 5518 | -9 | -9,4 | 97 | 3,6 | 50 | 14 | 317,8 | 329,7 | 318,4 |
| 516 | 5637 | -9,7 | -10,4 | 94 | 3,36 | 60 | 11 | 318,3 | 329,5 | 318,9 |
| 503 | 5834 | -10,9 | -12,2 | 90 | 3 | 72 | 13 | 319,1 | 329,2 | 319,7 |
| 500 | 5880 | -11,1 | -12,8 | 87 | 2,87 | 75 | 14 | 319,4 | 329,1 | 320 |
| 493 | 5989 | -10,5 | -16,5 | 61 | 2,15 | 90 | 13 | 321,5 | 328,9 | 321,9 |
| 484 | 6130 | -11,5 | -26,4 | 28 | 0,92 | 95 | 14 | 322 | 325,3 | 322,1 |
| 480 | 6194 | -11,9 | -30,9 | 19 | 0,61 | 89 | 13 | 322,2 | 324,5 | 322,3 |
| 475 | 6275 | -12,3 | -21,3 | 47 | 1,48 | 82 | 12 | 322,7 | 327,9 | 323 |
| 464 | 6454 | -13,4 | -20,6 | 55 | 1,61 | 65 | 10 | 323,5 | 329,2 | 323,8 |
| 463 | 6470 | -13,5 | -20,5 | 56 | 1,63 | 65 | 10 | 323,6 | 329,3 | 323,9 |
| 446 | 6754 | -15,7 | -23,7 | 50 | 1,27 | 67 | 10 | 324,2 | 328,8 | 324,5 |
| 440 | 6856 | -15,9 | -39,9 | 11 | 0,27 | 68 | 11 | 325 | 326 | 325 |
| 428 | 7065 | -17,3 | -25,3 | 50 | 1,15 | 69 | 11 | 326,1 | 330,2 | 326,3 |
| 419 | 7224 | -18,1 | -30,2 | 34 | 0,75 | 70 | 11 | 327 | 329,8 | 327,1 |
| 417 | 7260 | -18,3 | -31,3 | 31 | 0,68 | 69 | 11 | 327,2 | 329,8 | 327,3 |
| 414 | 7314 | -18,3 | -37,3 | 17 | 0,38 | 69 | 12 | 327,9 | 329,4 | 327,9 |
| 400 | 7570 | -20,5 | -39,5 | 17 | 0,31 | 65 | 14 | 328,3 | 329,5 | 328,3 |
| 387 | 7813 | -22,7 | -44,7 | 12 | 0,19 | 59 | 14 | 328,5 | 329,2 | 328,5 |
| 379 | 7963 | -24 | -43,1 | 15 | 0,22 | 55 | 14 | 328,7 | 329,6 | 328,8 |
| 365 | 8234 | -26,4 | -40,2 | 26 | 0,32 | 80 | 10 | 329,1 | 330,4 | 329,2 |
| 334 | 8872 | -31,9 | -33,4 | 86 | 0,69 | 66 | 6 | 330 | 332,6 | 330,2 |
| 332 | 8914 | -31,9 | -36,4 | 64 | 0,51 | 66 | 6 | 330,6 | 332,6 | 330,7 |
| 314 | 9305 | -35,3 | -37,5 | 80 | 0,49 | 57 | 4 | 331,2 | 333,1 | 331,3 |

Annexe II

| PRES hPa | HGHT m | TEMP C | DWPT C | RELH % | MIXR g/kg | DRCT deg | SKNT knot | THTA K | THTE K | THTV K |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 306 | 9484 | -36,7 | -44,7 | 43 | 0,23 | 53 | 3 | 331,6 | 332,6 | 331,7 |
| 300 | 9620 | -38,1 | -45,1 | 48 | 0,23 | 50 | 2 | 331,6 | 332,5 | 331,6 |
| 287 | 9921 | -40,8 | -45,6 | 60 | 0,23 | 0 | 0 | 331,9 | 332,8 | 331,9 |
| 281 | 10064 | -42,1 | -45,9 | 66 | 0,22 | 352 | 0 | 332,1 | 333 | 332,1 |
| 264 | 10481 | -45,7 | -53,7 | 40 | 0,1 | 330 | 1 | 332,8 | 333,2 | 332,8 |
| 256 | 10684 | -47,5 | -54,5 | 44 | 0,09 | 319 | 2 | 333,1 | 333,4 | 333,1 |
| 250 | 10840 | -48,7 | -54,7 | 50 | 0,09 | 310 | 2 | 333,5 | 333,9 | 333,6 |
| 239 | 11134 | -51,3 | -56 | 57 | 0,08 | 308 | 3 | 333,9 | 334,3 | 333,9 |
| 231 | 11355 | -53,1 | -61,1 | 37 | 0,04 | 306 | 3 | 334,5 | 334,7 | 334,5 |
| 208 | 12023 | -58,3 | -62,8 | 56 | 0,04 | 301 | 5 | 336,5 | 336,7 | 336,5 |
| 206 | 12084 | -58,5 | -64,5 | 46 | 0,03 | 300 | 5 | 337,1 | 337,2 | 337,1 |
| 203 | 12176 | -58,3 | -73,3 | 13 | 0,01 | 350 | 6 | 338,8 | 338,9 | 338,8 |
| 200 | 12270 | -58,1 | -73,1 | 13 | 0,01 | 40 | 7 | 340,6 | 340,6 | 340,6 |
| 186 | 12730 | -55,3 | -79,3 | 4 | 0 | 300 | 9 | 352,3 | 352,3 | 352,3 |
| 182 | 12868 | -55,7 | -79,6 | 4 | 0 | 270 | 10 | 353,8 | 353,8 | 353,8 |
| 179 | 12973 | -56 | -79,9 | 4 | 0 | 275 | 14 | 354,9 | 354,9 | 354,9 |
| 170 | 13299 | -57,1 | -80,6 | 4 | 0 | 250 | 17 | 358,5 | 358,5 | 358,5 |
| 160 | 13682 | -58,2 | -81,5 | 4 | 0 | 280 | 14 | 362,8 | 362,8 | 362,8 |
| 150 | 14090 | -59,5 | -82,5 | 4 | 0 | 250 | 16 | 367,4 | 367,4 | 367,4 |
| 149 | 14131 | -59,6 | -82,6 | 4 | 0 | 245 | 16 | 367,9 | 367,9 | 367,9 |
| 141 | 14473 | -60,7 | -83,1 | 4 | 0 | 290 | 15 | 371,9 | 371,9 | 371,9 |
| 137 | 14650 | -61,2 | -83,4 | 4 | 0 | 300 | 12 | 374 | 374 | 374 |
| 132 | 14880 | -61,9 | -83,8 | 4 | 0 | 255 | 13 | 376,7 | 376,8 | 376,7 |
| 112 | 15896 | -65 | -85,3 | 5 | 0 | 250 | 13 | 389,1 | 389,1 | 389,1 |
| 111 | 15952 | -65,2 | -85,4 | 5 | 0 | 240 | 10 | 389,7 | 389,7 | 389,7 |
| 108 | 16121 | -65,7 | -85,7 | 5 | 0 | 225 | 9 | 391,8 | 391,8 | 391,8 |
| 107 | 16178 | -65,7 | -85,8 | 5 | 0 | 240 | 10 | 392,9 | 392,9 | 392,9 |
| 100 | 16590 | -65,5 | -86,5 | 4 | 0 | 290 | 18 | 400,9 | 400,9 | 400,9 |
| 95 | 16901 | -66 | -87 | 4 | 0 | 355 | 16 | 405,9 | 405,9 | 405,9 |
| 91 | 17162 | -66,3 | -87,3 | 4 | 0 | 30 | 10 | 410,2 | 410,2 | 410,2 |
| 89 | 17296 | -66,5 | -87,5 | 4 | 0 | 10 | 3 | 412,4 | 412,4 | 412,4 |
| 84 | 17647 | -67,1 | -88,1 | 4 | 0 | 265 | 10 | 418,2 | 418,2 | 418,2 |
| 83,8 | 17661 | -67,1 | -88,1 | 4 | 0 | 267 | 11 | 418,4 | 418,4 | 418,4 |
| 83 | 17720 | -66,7 | -88,3 | 3 | 0 | 275 | 13 | 420,4 | 420,5 | 420,4 |
| 81 | 17868 | -65,6 | -88,8 | 3 | 0 | 260 | 10 | 425,6 | 425,6 | 425,6 |
| 77,7 | 18122 | -63,7 | -89,7 | 2 | 0 | 261 | 9 | 434,6 | 434,6 | 434,6 |
| 70 | 18760 | -65,1 | -90,1 | 2 | 0 | 265 | 6 | 444,8 | 444,8 | 444,8 |
| 68,3 | 18910 | -65,9 | -89,9 | 2 | 0 | 227 | 5 | 446,2 | 446,2 | 446,2 |
| 64 | 19308 | -65,1 | -90 | 2 | 0 | 125 | 2 | 456,2 | 456,2 | 456,2 |
| 62 | 19502 | -64,8 | -90,1 | 2 | 0 | 45 | 10 | 461,2 | 461,2 | 461,2 |
| 61 | 19602 | -64,6 | -90,1 | 2 | 0 | 45 | 16 | 463,8 | 463,8 | 463,8 |
| 58 | 19910 | -64 | -90,2 | 2 | 0 | 90 | 11 | 471,8 | 471,8 | 471,8 |
| 57 | 20017 | -63,8 | -90,3 | 2 | 0 | 90 | 10 | 474,6 | 474,6 | 474,6 |

Annexe II

| PRES hPa | HGHT m | TEMP C | DWPT C | RELH % | MIXR g/kg | DRCT deg | SKNT knot | THTA K | THTE K | THTV K |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 56 | 20125 | -63,6 | -90,3 | 2 | 0 | 40 | 10 | 477,5 | 477,5 | 477,5 |
| 53 | 20462 | -63 | -90,4 | 1 | 0 | 125 | 10 | 486,6 | 486,6 | 486,6 |
| 51 | 20698 | -62,5 | -90,5 | 1 | 0 | 122 | 7 | 493 | 493 | 493 |
| 50 | 20820 | -63,3 | -90,3 | 1 | 0 | 120 | 6 | 493,9 | 493,9 | 493,9 |
| 48,4 | 21019 | -64,3 | -91,3 | 1 | 0 | 96 | 3 | 496,1 | 496,1 | 496,1 |
| 48 | 21071 | -64,1 | -91,2 | 1 | 0 | 90 | 2 | 497,8 | 497,8 | 497,8 |
| 44 | 21614 | -61,8 | -90,3 | 1 | 0 | 60 | 10 | 516 | 516 | 516 |
| 43 | 21758 | -61,2 | -90,1 | 1 | 0 | 15 | 10 | 520,9 | 520,9 | 520,9 |
| 42 | 21905 | -60,5 | -89,9 | 1 | 0 | 20 | 17 | 526 | 526 | 526 |
| 38 | 22530 | -57,9 | -88,9 | 1 | 0 | 15 | 13 | 548 | 548 | 548 |
| 37 | 22697 | -57,2 | -88,6 | 1 | 0 | 50 | 10 | 554 | 554 | 554 |
| 35 | 23044 | -55,7 | -88,1 | 1 | 0 | 0 | 10 | 566,7 | 566,7 | 566,7 |
| 34 | 23225 | -54,9 | -87,8 | 1 | 0,01 | 65 | 3 | 573,4 | 573,5 | 573,4 |
| 33,7 | 23280 | -54,7 | -87,7 | 1 | 0,01 | 67 | 4 | 575,5 | 575,5 | 575,5 |
| 31 | 23811 | -56 | -88,3 | 1 | 0,01 | 90 | 10 | 585,9 | 585,9 | 585,9 |
| 30 | 24020 | -56,5 | -88,5 | 1 | 0,01 | 70 | 10 | 590 | 590,1 | 590 |
| 27,3 | 24618 | -56,7 | -88,7 | 1 | 0,01 | 115 | 10 | 605,6 | 605,6 | 605,6 |
| 27 | 24689 | -56,2 | -88,5 | 1 | 0,01 | 120 | 10 | 608,8 | 608,9 | 608,8 |
| 24,1 | 25418 | -51,3 | -86,3 | 1 | 0,01 | 77 | 9 | 643,2 | 643,3 | 643,2 |

Annexe III

Le 27/09/2018 à00Z

| PRES hPa | HGHT m | TEMP C | DWPT C | RELH % | MIXR g/kg | DRCT deg | SKNT knot | THTA K | THTE K | THTV K |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| 930 | 816 | 23,4 | 6,4 | 33 | 6,52 | 100 | 16 | 302,8 | 322,6 | 304 |
| 925 | 855 | 23 | 11 | 47 | 8,98 | 95 | 16 | 302,8 | 329,9 | 304,5 |
| 860 | 1486 | 19,6 | 8,6 | 49 | 8,22 | 91 | 23 | 305,6 | 330,7 | 307,1 |
| 850 | 1586 | 18,6 | 8,6 | 52 | 8,31 | 90 | 24 | 305,6 | 331 | 307,1 |
| 772 | 2398 | 11,6 | 5,2 | 65 | 7,22 | 90 | 16 | 306,6 | 328,8 | 307,9 |
| 743 | 2722 | 8,8 | 3,8 | 71 | 6,81 | 46 | 12 | 306,9 | 327,9 | 308,2 |
| 730 | 2867 | 7,8 | 3 | 72 | 6,56 | 25 | 10 | 307,4 | 327,8 | 308,7 |
| 700 | 3213 | 5,6 | 1,2 | 73 | 6 | 35 | 13 | 308,6 | 327,4 | 309,8 |
| 694 | 3283 | 5 | 1 | 75 | 5,98 | 45 | 13 | 308,8 | 327,5 | 309,9 |
| 636 | 3991 | -0,7 | -0,7 | 100 | 5,75 | 50 | 17 | 310,1 | 328,1 | 311,1 |
| 616 | 4246 | -2,7 | -2,7 | 100 | 5,12 | 52 | 18 | 310,6 | 326,8 | 311,6 |
| 590 | 4586 | -4,7 | -4,7 | 100 | 4,58 | 55 | 20 | 312,1 | 326,8 | 312,9 |
| 563 | 4956 | -7 | -7 | 100 | 4,05 | 65 | 16 | 313,7 | 326,8 | 314,4 |
| 559 | 5012 | -7,3 | -7,3 | 100 | 3,97 | 70 | 16 | 313,9 | 326,8 | 314,7 |
| 553 | 5096 | -5,9 | -8,8 | 80 | 3,57 | 79 | 16 | 316,5 | 328,3 | 317,2 |
| 538 | 5310 | -7,3 | -10 | 81 | 3,34 | 100 | 15 | 317,3 | 328,4 | 318 |
| 521 | 5560 | -9 | -11,4 | 83 | 3,09 | 95 | 15 | 318,3 | 328,6 | 318,9 |
| 500 | 5880 | -11,1 | -13,2 | 84 | 2,78 | 60 | 14 | 319,4 | 328,9 | 320 |
| 495 | 5957 | -11,2 | -14,1 | 79 | 2,61 | 55 | 13 | 320,2 | 329,1 | 320,8 |
| 490 | 6035 | -11,3 | -15 | 74 | 2,45 | 55 | 14 | 321,1 | 329,4 | 321,5 |
| 444 | 6779 | -17,7 | -18,5 | 93 | 2,01 | 58 | 18 | 322,1 | 329,1 | 322,5 |
| 421 | 7172 | -20,4 | -21,5 | 91 | 1,65 | 60 | 21 | 323,7 | 329,5 | 324 |
| 400 | 7550 | -22,9 | -24,3 | 88 | 1,35 | 45 | 11 | 325,1 | 330 | 325,4 |
| 398 | 7587 | -23,3 | -24,5 | 90 | 1,33 | 42 | 12 | 325,1 | 329,9 | 325,4 |
| 391 | 7716 | -24,1 | -28 | 70 | 0,98 | 30 | 17 | 325,7 | 329,3 | 325,9 |
| 357 | 8377 | -28,1 | -46,1 | 16 | 0,17 | 27 | 14 | 328,9 | 329,6 | 328,9 |
| 340 | 8724 | -31,2 | -43,1 | 30 | 0,25 | 25 | 12 | 329,3 | 330,3 | 329,4 |
| 332 | 8894 | -32,7 | -41,7 | 40 | 0,3 | 39 | 11 | 329,5 | 330,7 | 329,6 |
| 331 | 8915 | -32,9 | -46,9 | 23 | 0,17 | 41 | 10 | 329,5 | 330,2 | 329,5 |
| 329 | 8958 | -33,2 | -45,5 | 28 | 0,2 | 45 | 10 | 329,6 | 330,4 | 329,6 |
| 324 | 9066 | -34,1 | -42,1 | 44 | 0,29 | 47 | 10 | 329,9 | 331 | 329,9 |
| 316 | 9240 | -35,7 | -46,6 | 32 | 0,18 | 50 | 11 | 330 | 330,8 | 330,1 |
| 308 | 9418 | -37,3 | -51,3 | 22 | 0,11 | 39 | 12 | 330,2 | 330,7 | 330,2 |
| 302 | 9554 | -38,5 | -44,5 | 53 | 0,24 | 30 | 12 | 330,4 | 331,3 | 330,4 |
| 300 | 9600 | -38,7 | -45,7 | 48 | 0,21 | 30 | 12 | 330,7 | 331,6 | 330,8 |
| 296 | 9692 | -39,5 | -47,2 | 44 | 0,18 | 35 | 13 | 330,8 | 331,5 | 330,8 |
| 288 | 9878 | -41,3 | -50,3 | 37 | 0,13 | 29 | 14 | 330,9 | 331,4 | 330,9 |
| 282 | 10020 | -42,6 | -51,1 | 39 | 0,12 | 25 | 15 | 331 | 331,5 | 331 |
| 274 | 10213 | -44,4 | -52,2 | 42 | 0,11 | 40 | 11 | 331,1 | 331,6 | 331,1 |
| 266 | 10411 | -46,3 | -53,3 | 45 | 0,1 | 40 | 11 | 331,2 | 331,6 | 331,2 |
| 261 | 10537 | -47,3 | -50 | 74 | 0,15 | 40 | 11 | 331,5 | 332,1 | 331,5 |

Annexe III

| PRES hPa | HGHT m | TEMP C | DWPT C | RELH % | MIXR g/kg | DRCT deg | SKNT knot | THTA K | THTE K | THTV K |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|
| 258 | 10613 | -48,1 | -52,8 | 58 | 0,11 | 40 | 11 | 331,4 | 331,9 | 331,4 |
| 250 | 10820 | -49,5 | -57,5 | 39 | 0,06 | 25 | 12 | 332,3 | 332,6 | 332,4 |
| 247 | 10899 | -50,2 | -57,5 | 42 | 0,07 | 20 | 12 | 332,4 | 332,7 | 332,4 |
| 240 | 11085 | -52 | -57,5 | 51 | 0,07 | 20 | 14 | 332,5 | 332,8 | 332,5 |
| 238 | 11140 | -52,5 | -57,5 | 55 | 0,07 | 26 | 14 | 332,5 | 332,8 | 332,5 |
| 232 | 11303 | -53,5 | -59,2 | 50 | 0,06 | 45 | 14 | 333,4 | 333,7 | 333,4 |
| 215 | 11790 | -56,5 | -64,3 | 37 | 0,03 | 30 | 11 | 336,1 | 336,2 | 336,1 |
| 213 | 11850 | -56,9 | -64,9 | 36 | 0,03 | 30 | 12 | 336,4 | 336,5 | 336,4 |
| 208 | 12000 | -55,5 | -73,5 | 9 | 0,01 | 357 | 10 | 340,9 | 340,9 | 340,9 |
| 207 | 12031 | -55,4 | -73,1 | 9 | 0,01 | 350 | 10 | 341,4 | 341,5 | 341,4 |
| 205 | 12093 | -55,3 | -72,3 | 10 | 0,01 | 353 | 10 | 342,6 | 342,7 | 342,6 |
| 200 | 12250 | -56,5 | -70,5 | 16 | 0,01 | 0 | 11 | 343,1 | 343,2 | 343,1 |
| 197 | 12346 | -56,9 | -66,9 | 27 | 0,02 | 353 | 11 | 344 | 344,1 | 344 |
| 194 | 12443 | -56,5 | -75,5 | 7 | 0,01 | 346 | 11 | 346,1 | 346,2 | 346,1 |
| 179 | 12952 | -56,7 | -76,7 | 6 | 0,01 | 310 | 10 | 353,9 | 353,9 | 353,9 |
| 171 | 13238 | -57,6 | -77,6 | 6 | 0,01 | 340 | 11 | 357 | 357 | 357 |
| 150 | 14060 | -60,3 | -80,3 | 6 | 0 | 270 | 8 | 366 | 366 | 366 |
| 145 | 14269 | -61,1 | -80,6 | 6 | 0 | 270 | 10 | 368,2 | 368,3 | 368,2 |
| 133 | 14802 | -63 | -81,4 | 7 | 0 | 295 | 17 | 374 | 374 | 374 |
| 119 | 15488 | -65,5 | -82,5 | 8 | 0 | 285 | 14 | 381,5 | 381,5 | 381,5 |
| 117 | 15591 | -65,4 | -82,8 | 7 | 0 | 280 | 12 | 383,5 | 383,5 | 383,5 |
| 110 | 15968 | -65 | -83,9 | 6 | 0 | 305 | 12 | 391 | 391 | 391 |
| 107 | 16137 | -64,9 | -84,3 | 5 | 0 | 285 | 12 | 394,4 | 394,4 | 394,4 |
| 100 | 16550 | -64,5 | -85,5 | 4 | 0 | 310 | 11 | 402,8 | 402,9 | 402,8 |
| 98 | 16673 | -64,8 | -85,7 | 4 | 0 | 255 | 13 | 404,6 | 404,6 | 404,6 |
| 96 | 16799 | -65,1 | -85,8 | 4 | 0 | 250 | 16 | 406,4 | 406,5 | 406,4 |
| 92 | 17058 | -65,7 | -86,2 | 4 | 0 | 295 | 10 | 410,2 | 410,2 | 410,2 |
| 90 | 17192 | -66 | -86,4 | 4 | 0 | 300 | 8 | 412,2 | 412,2 | 412,2 |
| 85 | 17540 | -66,8 | -86,8 | 4 | 0 | 260 | 16 | 417,4 | 417,4 | 417,4 |
| 84,3 | 17590 | -66,9 | -86,9 | 4 | 0 | 268 | 17 | 418,1 | 418,1 | 418,1 |
| 81 | 17833 | -66,6 | -87 | 4 | 0 | 305 | 22 | 423,5 | 423,6 | 423,5 |
| 79 | 17985 | -66,4 | -87,1 | 4 | 0 | 325 | 19 | 427 | 427 | 427 |
| 78 | 18062 | -66,3 | -87,2 | 4 | 0 | 320 | 14 | 428,7 | 428,7 | 428,7 |
| 75 | 18301 | -66 | -87,3 | 4 | 0 | 265 | 10 | 434,2 | 434,2 | 434,2 |
| 73 | 18465 | -65,8 | -87,4 | 4 | 0 | 310 | 14 | 438 | 438 | 438 |
| 70 | 18720 | -65,5 | -87,5 | 3 | 0 | 320 | 15 | 443,9 | 443,9 | 443,9 |
| 67 | 18988 | -64,2 | -87,6 | 3 | 0 | 300 | 12 | 452,3 | 452,3 | 452,3 |
| 66 | 19080 | -63,8 | -87,7 | 3 | 0 | 310 | 11 | 455,2 | 455,2 | 455,2 |
| 65,8 | 19098 | -63,7 | -87,7 | 3 | 0 | 313 | 12 | 455,8 | 455,8 | 455,8 |
| 62 | 19462 | -64,6 | -88 | 3 | 0 | 10 | 24 | 461,6 | 461,6 | 461,6 |
| 61 | 19561 | -64,8 | -88 | 3 | 0 | 30 | 19 | 463,2 | 463,2 | 463,2 |
| 60 | 19663 | -65,1 | -88,1 | 3 | 0 | 60 | 15 | 464,8 | 464,8 | 464,8 |
| 59 | 19766 | -64,2 | -88,1 | 3 | 0 | 90 | 10 | 469 | 469 | 469 |

Annexe III

| PRES hPa | HGHT m | TEMP C | DWPT C | RELH % | MIXR g/kg | DRCT deg | SKNT knot | THTA K | THTE K | THTV K |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 55,3 | 20165 | -60,9 | -87,9 | 2 | 0 | 79 | 4 | 485,4 | 485,4 | 485,4 |
| 54 | 20312 | -61,1 | -87,9 | 2 | 0 | 75 | 2 | 488,1 | 488,2 | 488,1 |
| 51 | 20667 | -61,7 | -87,9 | 2 | 0 | 50 | 10 | 494,8 | 494,9 | 494,8 |
| 50 | 20790 | -61,9 | -87,9 | 2 | 0 | 70 | 11 | 497,2 | 497,2 | 497,2 |
| 49 | 20915 | -62 | -88 | 2 | 0 | 85 | 10 | 499,8 | 499,8 | 499,8 |
| 48,4 | 20991 | -62,1 | -88,1 | 2 | 0 | 87 | 9 | 501,4 | 501,4 | 501,4 |
| 45,8 | 21334 | -59,7 | -87,7 | 1 | 0 | 97 | 5 | 515,1 | 515,1 | 515,1 |
| 45 | 21444 | -59,9 | -87,8 | 2 | 0 | 100 | 4 | 517,2 | 517,2 | 517,2 |
| 42 | 21873 | -60,8 | -88,1 | 2 | 0 | 55 | 19 | 525,3 | 525,4 | 525,4 |
| 40,3 | 22130 | -61,3 | -88,3 | 2 | 0 | 55 | 15 | 530,3 | 530,3 | 530,3 |
| 38 | 22501 | -59,8 | -87,8 | 1 | 0 | 55 | 10 | 543,1 | 543,2 | 543,1 |
| 37 | 22669 | -59,1 | -87,6 | 1 | 0,01 | 80 | 10 | 549,1 | 549,1 | 549,1 |
| 30,3 | 23930 | -53,9 | -85,9 | 1 | 0,01 | 94 | 2 | 595,4 | 595,5 | 595,4 |

Le 01/10/2018 à 00Z

| PRES hPa | HGHT m | TEMP C | DWPT C | RELH % | MIXR g/kg | DRCT deg | SKNT knot | THTA K | THTE K | THTV K |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|
| 927 | 816 | 22,2 | 6,2 | 35 | 6,45 | 300 | 6 | 301,8 | 321,4 | 303 |
| 926 | 821 | 24,2 | 4,2 | 27 | 5,61 | 303 | 6 | 303,9 | 321,2 | 305 |
| 925 | 826 | 24,4 | 3,4 | 26 | 5,31 | 305 | 5 | 304,2 | 320,7 | 305,2 |
| 916 | 912 | 25 | 0 | 19 | 4,2 | 313 | 4 | 305,7 | 318,9 | 306,5 |
| 864 | 1419 | 20,6 | -0,5 | 24 | 4,3 | 0 | 0 | 306,3 | 319,8 | 307,1 |
| 850 | 1561 | 19,4 | -0,6 | 26 | 4,33 | 185 | 3 | 306,4 | 320,1 | 307,3 |
| 707 | 3104 | 5,2 | -3,8 | 52 | 4,1 | 90 | 8 | 307,3 | 320,3 | 308,1 |
| 700 | 3185 | 4,6 | -4,4 | 52 | 3,96 | 85 | 8 | 307,6 | 320,1 | 308,3 |
| 695 | 3243 | 4,2 | -4 | 56 | 4,13 | 80 | 10 | 307,7 | 320,8 | 308,4 |
| 689 | 3314 | 3,6 | -3,4 | 60 | 4,34 | 77 | 10 | 307,8 | 321,6 | 308,6 |
| 685 | 3362 | 3,4 | -5,5 | 52 | 3,74 | 75 | 10 | 308,1 | 320,1 | 308,8 |
| 672 | 3517 | 2,8 | -12,2 | 32 | 2,24 | 87 | 10 | 309,1 | 316,5 | 309,6 |
| 646 | 3836 | 0 | -1,8 | 88 | 5,22 | 111 | 9 | 309,5 | 325,9 | 310,4 |
| 566 | 4883 | -8,3 | -8,9 | 95 | 3,46 | 192 | 6 | 311,6 | 322,9 | 312,3 |
| 562 | 4938 | -8,1 | -11,9 | 74 | 2,75 | 196 | 6 | 312,5 | 321,5 | 313 |
| 537 | 5291 | -10,3 | -10,3 | 100 | 3,27 | 224 | 5 | 313,9 | 324,7 | 314,6 |
| 532 | 5363 | -10,7 | -10,9 | 98 | 3,16 | 230 | 5 | 314,4 | 324,8 | 315 |
| 502 | 5809 | -12,9 | -14,3 | 89 | 2,53 | 235 | 10 | 316,9 | 325,4 | 317,4 |
| 500 | 5840 | -13,1 | -16,3 | 77 | 2,15 | 235 | 10 | 317 | 324,3 | 317,4 |
| 498 | 5870 | -13,1 | -20,1 | 56 | 1,56 | 236 | 10 | 317,4 | 322,8 | 317,7 |
| 490 | 5993 | -14,3 | -19,3 | 66 | 1,7 | 238 | 11 | 317,4 | 323,2 | 317,7 |
| 487 | 6040 | -14,5 | -16,1 | 88 | 2,25 | 240 | 11 | 317,7 | 325,3 | 318,1 |
| 473 | 6260 | -15,9 | -17,1 | 90 | 2,13 | 244 | 13 | 318,6 | 325,9 | 319 |
| 468 | 6340 | -16,3 | -23,3 | 55 | 1,26 | 246 | 13 | 319,1 | 323,5 | 319,3 |
| 458 | 6501 | -17,4 | -26,9 | 43 | 0,93 | 250 | 14 | 319,6 | 323 | 319,8 |
| 452 | 6600 | -18,1 | -29,1 | 38 | 0,77 | 243 | 15 | 320 | 322,8 | 320,1 |
| 433 | 6918 | -20,4 | -24,9 | 67 | 1,18 | 220 | 20 | 321 | 325,2 | 321,3 |
| 429 | 6987 | -20,9 | -24 | 76 | 1,29 | 222 | 20 | 321,2 | 325,8 | 321,5 |
| 415 | 7231 | -22,3 | -31,3 | 44 | 0,68 | 228 | 20 | 322,5 | 325 | 322,6 |
| 412 | 7284 | -22,1 | -35,1 | 30 | 0,47 | 229 | 20 | 323,4 | 325,2 | 323,5 |
| 400 | 7500 | -23,9 | -34,9 | 36 | 0,5 | 235 | 20 | 323,8 | 325,7 | 323,9 |
| 397 | 7553 | -24,4 | -35,1 | 36 | 0,49 | 235 | 21 | 323,9 | 325,8 | 324 |
| 357 | 8299 | -30,8 | -38,5 | 47 | 0,39 | 235 | 33 | 325,3 | 326,8 | 325,4 |
| 338 | 8683 | -34,1 | -40,2 | 54 | 0,34 | 225 | 44 | 325,9 | 327,2 | 326 |
| 324 | 8980 | -36,6 | -41,6 | 60 | 0,31 | 215 | 40 | 326,4 | 327,6 | 326,4 |
| 300 | 9520 | -41,3 | -44 | 75 | 0,26 | 215 | 34 | 327 | 328,1 | 327,1 |
| 295 | 9634 | -42,3 | -43,8 | 85 | 0,27 | 216 | 34 | 327,2 | 328,3 | 327,2 |
| 293 | 9680 | -42,7 | -46,7 | 65 | 0,2 | 216 | 34 | 327,3 | 328,1 | 327,3 |
| 289 | 9772 | -43,7 | -45,2 | 85 | 0,23 | 217 | 34 | 327,1 | 328,1 | 327,2 |
| 281 | 9960 | -45,5 | -51,5 | 51 | 0,12 | 218 | 33 | 327,2 | 327,7 | 327,2 |
| 273 | 10151 | -47,2 | -50,6 | 69 | 0,14 | 220 | 33 | 327,4 | 327,9 | 327,4 |

| PRES hPa | HGHT m | TEMP C | DWPT C | RELH % | MIXR g/kg | DRCT deg | SKNT knot | THTA K | THTE K | THTV K |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|
| 270 | 10224 | -47,9 | -50,2 | 77 | 0,14 | 225 | 33 | 327,4 | 328 | 327,5 |
| 267 | 10297 | -48,5 | -52,1 | 66 | 0,12 | 230 | 33 | 327,6 | 328,1 | 327,6 |
| 266 | 10322 | -48,3 | -55,3 | 44 | 0,08 | 231 | 33 | 328,3 | 328,6 | 328,3 |
| 261 | 10447 | -48,9 | -54,9 | 49 | 0,09 | 240 | 32 | 329,2 | 329,5 | 329,2 |
| 260 | 10472 | -49,1 | -56,1 | 44 | 0,07 | 241 | 32 | 329,2 | 329,5 | 329,2 |
| 256 | 10574 | -47,5 | -71,5 | 5 | 0,01 | 248 | 32 | 333,1 | 333,1 | 333,1 |
| 255 | 10600 | -47,6 | -70,9 | 5 | 0,01 | 250 | 32 | 333,3 | 333,3 | 333,3 |
| 250 | 10730 | -48,1 | -68,1 | 8 | 0,02 | 245 | 32 | 334,4 | 334,5 | 334,4 |
| 226 | 11386 | -51 | -71,9 | 7 | 0,01 | 250 | 35 | 339,8 | 339,8 | 339,8 |
| 215 | 11710 | -52,4 | -73,8 | 6 | 0,01 | 230 | 30 | 342,4 | 342,5 | 342,4 |
| 200 | 12180 | -54,5 | -76,5 | 5 | 0,01 | 245 | 32 | 346,3 | 346,3 | 346,3 |
| 199 | 12212 | -54,7 | -76,5 | 5 | 0,01 | 245 | 31 | 346,4 | 346,4 | 346,4 |
| 192 | 12441 | -56,5 | -76,7 | 6 | 0,01 | 240 | 27 | 347,2 | 347,3 | 347,2 |
| 191 | 12474 | -56,7 | -76,7 | 6 | 0,01 | 240 | 28 | 347,4 | 347,4 | 347,4 |
| 181 | 12814 | -57,5 | -78,1 | 6 | 0 | 240 | 42 | 351,5 | 351,5 | 351,5 |
| 174 | 13063 | -58 | -79,2 | 5 | 0 | 245 | 30 | 354,6 | 354,6 | 354,6 |
| 159 | 13632 | -59,3 | -81,6 | 4 | 0 | 240 | 32 | 361,7 | 361,7 | 361,7 |
| 150 | 14000 | -60,1 | -83,1 | 3 | 0 | 255 | 35 | 366,3 | 366,4 | 366,3 |
| 146 | 14168 | -61,1 | -83,3 | 4 | 0 | 255 | 41 | 367,5 | 367,5 | 367,5 |
| 145 | 14211 | -61,3 | -83,3 | 4 | 0 | 255 | 40 | 367,8 | 367,8 | 367,8 |
| 140 | 14429 | -59,5 | -83,5 | 3 | 0 | 270 | 29 | 374,7 | 374,7 | 374,7 |
| 137 | 14564 | -60,4 | -83,5 | 3 | 0 | 260 | 25 | 375,5 | 375,5 | 375,5 |
| 132 | 14794 | -61,9 | -83,5 | 4 | 0 | 250 | 26 | 376,8 | 376,8 | 376,8 |
| 130 | 14889 | -62,5 | -83,5 | 4 | 0 | 255 | 27 | 377,3 | 377,4 | 377,3 |
| 123 | 15232 | -61,6 | -84,6 | 3 | 0 | 275 | 30 | 384,9 | 384,9 | 384,9 |
| 119 | 15437 | -61,1 | -85,2 | 3 | 0 | 265 | 32 | 389,6 | 389,6 | 389,6 |
| 116 | 15595 | -60,7 | -85,7 | 2 | 0 | 263 | 26 | 393,1 | 393,2 | 393,1 |
| 113 | 15757 | -61,4 | -85,8 | 3 | 0 | 260 | 20 | 394,8 | 394,8 | 394,8 |
| 111 | 15867 | -61,9 | -85,9 | 3 | 0 | 250 | 18 | 395,9 | 395,9 | 395,9 |
| 107 | 16094 | -62,9 | -86,1 | 3 | 0 | 225 | 19 | 398,2 | 398,3 | 398,2 |
| 106 | 16152 | -63,1 | -86,1 | 3 | 0 | 229 | 20 | 398,9 | 398,9 | 398,9 |
| 100 | 16510 | -63,1 | -87,1 | 3 | 0 | 255 | 28 | 405,5 | 405,6 | 405,5 |
| 96 | 16760 | -64,7 | -87,7 | 3 | 0 | 267 | 27 | 407,2 | 407,2 | 407,2 |
| 95 | 16824 | -64,6 | -87,8 | 3 | 0 | 270 | 27 | 408,6 | 408,6 | 408,6 |
| 90 | 17156 | -64 | -88,2 | 2 | 0 | 265 | 21 | 416,2 | 416,2 | 416,2 |
| 87 | 17364 | -63,6 | -88,5 | 2 | 0 | 240 | 17 | 421 | 421,1 | 421 |
| 86 | 17435 | -63,5 | -88,5 | 2 | 0 | 225 | 18 | 422,7 | 422,7 | 422,7 |
| 84 | 17580 | -63,2 | -88,7 | 2 | 0 | 230 | 21 | 426,1 | 426,1 | 426,1 |
| 78 | 18035 | -62,3 | -89,3 | 2 | 0 | 280 | 21 | 437 | 437 | 437 |
| 75 | 18276 | -61,9 | -89,6 | 1 | 0 | 235 | 23 | 442,8 | 442,8 | 442,8 |
| 70 | 18700 | -61,1 | -90,1 | 1 | 0 | 265 | 26 | 453,3 | 453,3 | 453,3 |
| 69 | 18790 | -61 | -90,1 | 1 | 0 | 270 | 26 | 455,5 | 455,5 | 455,5 |
| 66 | 19067 | -60,5 | -90 | 1 | 0 | 305 | 21 | 462,4 | 462,4 | 462,4 |

| PRES hPa | HGHT m | TEMP C | DWPT C | RELH % | MIXR g/kg | DRCT deg | SKNT knot | THTA K | THTE K | THTV K |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 65 | 19162 | -60,3 | -90 | 1 | 0 | 310 | 15 | 464,8 | 464,8 | 464,8 |
| 63 | 19357 | -60 | -89,9 | 1 | 0 | 265 | 10 | 469,7 | 469,7 | 469,7 |
| 62 | 19457 | -59,8 | -89,9 | 1 | 0 | 240 | 11 | 472,2 | 472,2 | 472,2 |
| 57 | 19981 | -58,9 | -89,7 | 1 | 0 | 240 | 23 | 485,7 | 485,8 | 485,7 |
| 56 | 20092 | -58,7 | -89,7 | 1 | 0 | 249 | 22 | 488,6 | 488,6 | 488,6 |
| 52 | 20555 | -59,8 | -90,1 | 1 | 0 | 285 | 17 | 496,7 | 496,7 | 496,7 |
| 51 | 20676 | -60 | -90,2 | 1 | 0 | 275 | 19 | 498,8 | 498,8 | 498,8 |
| 50 | 20800 | -60,3 | -90,3 | 1 | 0 | 280 | 23 | 500,9 | 501 | 500,9 |
| 49 | 20926 | -60,8 | -90,2 | 1 | 0 | 285 | 25 | 502,7 | 502,7 | 502,7 |
| 48,4 | 21002 | -61,1 | -90,1 | 1 | 0 | 291 | 17 | 503,7 | 503,8 | 503,7 |
| 48 | 21055 | -61 | -90,1 | 1 | 0 | 295 | 11 | 505,3 | 505,3 | 505,3 |
| 46 | 21324 | -60,2 | -89,9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 513,2 | 513,2 | 513,2 |
| 43 | 21751 | -59,1 | -89,6 | 1 | 0 | 150 | 10 | 526 | 526 | 526 |
| 41 | 22053 | -58,3 | -89,3 | 1 | 0 | 165 | 18 | 535,3 | 535,3 | 535,3 |
| 40 | 22209 | -57,8 | -89,2 | 1 | 0 | 185 | 17 | 540,1 | 540,1 | 540,1 |
| 39 | 22369 | -57,4 | -89,1 | 1 | 0 | 160 | 15 | 545,1 | 545,2 | 545,1 |
| 37 | 22702 | -56,5 | -88,9 | 1 | 0 | 210 | 15 | 555,7 | 555,8 | 555,7 |
| 30 | 24030 | -52,9 | -87,9 | 1 | 0,01 | 300 | 7 | 599,8 | 599,9 | 599,8 |
| 29,7 | 24095 | -52,7 | -87,7 | 1 | 0,01 | 290 | 6 | 602,1 | 602,1 | 602,1 |
| 28 | 24474 | -53,1 | -87,8 | 1 | 0,01 | 230 | 1 | 611,3 | 611,4 | 611,3 |
| 27 | 24708 | -53,3 | -87,9 | 1 | 0,01 | 335 | 10 | 617,1 | 617,1 | 617,1 |
| 24 | 25466 | -54 | -88,1 | 1 | 0,01 | 250 | 1 | 636,1 | 636,2 | 636,1 |
| 23,6 | 25574 | -54,1 | -88,1 | 1 | 0,01 | | | 638,9 | 639 | 638,9 |

ملخص

في هذه الدراسة قمنا بدراسة استقرار الغلاف الجوي عن طريق قياسات الطبقات العليا ومخططات الرصد الجوي. تم اختيار موقع بشار منطقة الجنوب الغربي للجزائر للأحوال الجوية العاصفة و المستقرة التي ميزت نهاية سبتمبر وبداية أكتوبر 2018. تم التحقق من الاستقرار الجوي من خلال مؤشرات

Total – Total (TTI)- KI-Showalter-SWEAT - CAPE

وأظهرت النتائج وجود تفاوت بين نتائج هذه المؤشرات لنفس الحالة. خلصت الدراسة التي أجريت أن مؤشري TTI و KI إلى أنها مؤشرات لها حساسية "قوية" تجاه المواقف الجوية المختلفة مقارنة بالمؤشرات الأخرى.

الكلمات المفتاحية : الاستقرار الجوي – قياسات الطبقات العليا – مخططات الرصد الجوي – مؤشرات الاستقرار

RESUME

Dans cette étude nous avons étudiés la stabilité atmosphérique au moyen des mesures de sondages et les diagrammes météorologiques. Le site de Béchar (Région Sud-Ouest de l'Algérie) a été choisi pour les situations orageuses et stables qui ont marquées la fin Septembre et début Octobre 2018. La stabilité atmosphérique était réalisée au moyen des indices Total – Total (TTI), KI, Showalter, SWEAT et le CAPE. Les résultats ont montrés une disparité entre les constatations de ces indices pour la même situation. L'étude de sensibilité menée avait conclus que les indice TTI et KI ont une sensibilité « forte » en vers les différentes situations atmosphériques par rapport aux autres indices.

Mots-clés : Stabilité atmosphérique – Mesures de sondages – Diagrammes météorologiques – Indices de stabilité.

ABSTRACT

In this study, we have studied atmospheric stability by means of soundings measurements and meteorological diagrams. The site of Béchar (South-West Region of Algeria) was chosen for the stormy and stable situations which marked the end of September and the beginning of October 2018. Atmospheric stability was achieved by means of Total - Total index (TTI), KI, Showalter, SWEAT, and the CAPE. The results showed a disparity between the findings of these indexes for the same situation. The sensitivity study carried out concluded that the TTI and KI indexes have a "strong" sensitivity towards different atmospheric situations compared to other indexes.

Keywords: Atmospheric stability - Soundings measurements – Meteorological diagrams – Stability Indexes