

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université SAAD DAHLAB -BLIDA 1-



Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Option : Opérations Aériennes

Thème

**Amélioration de la prévision de la visibilité sur  
l'aérodrome d'Alger avec AROME à très haute  
résolution (1.3km) « validation »**

Organisme d'accueil

الديوان الوطني للأرصاد الجوية

Office National de la Météorologie

Réaliser par :

M<sup>lle</sup> BOUDJELLAL ZEHOUR

promoteur :

Mr. REZOUG TAHAR

Encadreur :

Mr . MOKHTARI MOURAD

Mr. CHIHKI WALID

2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **Résumé :**

La visibilité horizontale est une préoccupation majeure des services de prévisions météorologiques et aéronautique .en plus d'être un paramètre très complexe à prévoir, une baisse de visibilité assez forte peut rendre toute circulation (routière, maritime ou aérienne) dangereuse voire même impossible , des précautions doivent être prises et qui sont parfois très coûteuses .de ce fait, une prévision de la visibilité précise s'avère d'une importance capitale pour le secteur sociale et économique.

Une étude sur la tendance du modèle ALARO à prévoir la visibilité a été réalisé par l'institut slovaque d'hydrométéorologie (SHMU) en 2019 avec une résolution de 4.5 km et 63 niveaux verticaux sur le domaine du SHMU.

Dans ce travail la même étude sera évaluée sur le nord de l'Algérie en utilisant le modèle AROME avec une résolution de 1.3 km. Les résultats seront validés sur l'aérodrome d'Alger HOUARI BOUMEDIEN.

## **Abstract :**

Horizontal visibility is a major concern of weather and aviation forecast services. In addition to being a very complex parameter to predict, a fairly high visibility drop can make any traffic (road, sea or air) dangerous or even impossible, precautions must be taken and are sometimes very expensive. Therefore, a precise forecast of visibility is of vital importance for the social and economic sector.

A study on the tendency of the ALARO model to predict visibility was carried out by the Slovak Institute of Hydrometeorology (SHMU) in 2019 with a resolution of 4.5 km and 63 vertical levels on the SHMU domain.

In this work the same study will be evaluated on the north of Algeria using the AROME model with a resolution of 1.3 km. The results will be validated on the aerodrome of Algiers HOUARI BOUMEDIEN.

## ملخص :

وتمثل الرؤية الأفقية شاعلا رئيسيا لخدمات التنبؤ بالطقس والطيران. وبالإضافة إلى كونه معلماً معقداً للغاية للتنبؤ به ، فإن هبوط الرؤية إلى حد ما يمكن أن يجعل أي حركة مرور (برا أو بحرا أو هواء) خطرة أو حتى مستحيلة ، فلا بد من اتخاذ الاحتياطات ، وأحيانا تكون باهظة التكلفة. ولذلك ، فإن التنبؤ الدقيق بالوضوح له أهمية حيوية بالنسبة للقطاع الاجتماعي والاقتصادي.

في عام 2019 دراسة عن (ALARO) وأجرى المعهد السلوفاكي للأرصاد الجوية المائية إلى التنبؤ بالرؤية ، وذلك باستبانة تبلغ 4.5 كيلومترات و 63 مستوى SHMU ميل النموذج SHMU. عمودي على المجال

وسيجري في هذا العمل تقييم الدراسة نفسها في الشمال الجزائري باستخدام نموذج AROME باستبانة 1.3 كم و سيتم التحقق من صحة النتائج بمطار هواري بومدين الجزائر العاصمة .

## *Remerciement*

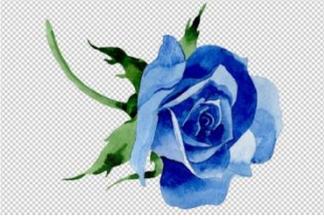
*Je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui ont contribué à la réussite de mon stage du projet de fin d'étude*

*J'adresse mes remerciements au Directeur général de l'Office National de la Météorologie , d'avoir accepté mon insertion au sein de l'entreprise.*

*Je remercie Mr. Mokhtari.M , le responsable du service de la prévision numérique du temps*

*Je remercie Mr Chikhi .Walid pour son accueil, son encadrement et ses fructueux conseils, tout au long de cette expérience professionnelle au sein de l'ONM*

*Je tiens à exprimer mes remerciements à Mr REZOUG.T professeur et directeur du L.S.A*



## Dédicace



*Je donne ce succès à ma précieuse mère braik Amina et à la lumière de ma vie, qui fut la raison la plus importante.*

*Pour exceller dans ma vie scolaire*

*Je donne ma joie à mon père Hassen , qui m'a toujours rendu heureux et confortable.*

*Aussi à la chère âme de Khali, braik Abdul Qadir, pour lui dire que j'ai accompli sa volonté envers moi.*

*A mes chères sœurs, roumaïssa et besma pour leur confiance et soutien physique et moral.*

*A Mes frères Ali ,Mohammed et Ibrahim*

*Je le donne aussi à mes amis et à tous ceux qui m'ont soutenu dans ma carrière.*

*Hanane, Anfel, Yassmine, Oussama, Fateh, Anwar, Abdou et Othmane.*

*Je me donne cette joie et je me félicite d'avoir surmonté toutes les difficultés avec un large sourire et un bon cœur et je me souhaite encore plus de succès.*



*Zulu*

# Sommaire

Basmallah .....	I
Résumé.....	II
Remerciement.....	IV
Dédicace.....	V
Sommaire.....	VI
Table des figures.....	X
Liste des tables.....	XII
Liste des abréviations.....	XIII
Introduction générale .....	01
Introduction .....	02
<b><u>Chapitre I : Généralité météorologique</u></b> .....	03
<u>Introduction</u> .....	04
<b>I.1</b> Définition .....	04
<b>I.2</b> <u>Instrumentation</u> .....	05
<b>I.3</b> <u>Les échelles en météorologie</u> .....	05
<b>I.4</b> <u>L'humidité</u> .....	06
<b>I.5</b> <u>La température</u> .....	07
<b>I.6</b> <u>La température du point de rosée</u> .....	07
<b>I.7</b> <u>Les précipitations</u> .....	08
<b>I.8</b> <u>Les services qui assurent la météorologie en Algérie</u> .....	09
<b>I.9</b> <u>Les messages météorologie</u> .....	10
<b>I.9.1</b> <u>METAR</u> .....	11
<b>I.9.2</b> <u>TAF</u> .....	12
<u>Conclusion</u> .....	14
<b><u>Chapitre 2 : la visibilité</u></b> .....	15
<u>Introduction</u> .....	16
<b>II.1</b> <u>Définition</u> .....	16
<b>II.2</b> <u>La visibilité aéronautique</u> .....	17
<b>II.3</b> <u>Conditions météorologiques réduisant la visibilité</u> .....	18
<b>II.3.1</b> <u>Brouillard</u> .....	18
<b>II.3.2</b> <u>Brouillard givrant</u> .....	18

<b>II.3.3</b> <u>Brume</u> .....	18
<b>II.3.4</b> <u>Brume sèche</u> .....	19
<b>II.3.5</b> <u>La pollution</u> .....	19
<b>II.3.6</b> <u>La fumée</u> .....	19
<b>II.4</b> <u>La mesure de visibilité</u> .....	19
<b>II.4.1</b> <u>Le transmissiomètre</u> .....	20
<b>II.4.2</b> <u>Le diffusomètre optique</u> .....	20
<b>II.4.3</b> <u>Le célomètre</u> .....	21
<b>II.5</b> <u>LE BROUILLARD</u> .....	21
<b>II.5.1</b> <u>Définition</u> .....	22
<b>II.5.2</b> <u>Paramètres qui défavorisent la formation des brouillards</u> .....	22
<b>II.5.2.1</b> <u>Météorologique</u> .....	22
<b>II.5.2.2</b> <u>Physique</u> .....	23
<b>II.5.3</b> <u>Processus de formation</u> .....	24
<b>II.5.4</b> <u>développement des brouillards</u> .....	24
<b>II.5.4.1</b> <u>Brouillard de rayonnement (radiatif)</u> .....	24
<b>II.5.4.2</b> <u>Brouillard d'advection</u> .....	25
<b>II.5.4.3</b> <u>Brouillard d'ascendance ou orographique</u> .....	26
<b>II.5.4.4</b> <u>Brouillard d'évaporation</u> .....	26
<b>II.5.4.5</b> <u>Brouillard mixte (mélange)</u> .....	27
<b>II.5.4.6</b> <u>Autres types de brouillard</u> .....	28
<b>II.5.5</b> <u>Cycle de vie des brouillards de type radiatif</u> .....	28
<b>II.5.5.1</b> <u>Phase de formation</u> .....	28
<b>II.5.5.2</b> <u>Phase mature</u> .....	29
<b>II.5.5.3</b> <u>Phase de dissipation</u> .....	30
<b>II.5.6</b> <u>Outils de détection</u> .....	31
<b>II.5.6.1</b> <u>Observations météorologiques classiques</u> .....	31
<b>II.5.6.2</b> <u>Stations d'observation automatiques</u> .....	31
<b>II.5.6.3</b> <u>Observations à bord de navires</u> .....	31
<b>II.5.6.4</b> <u>Imagerie satellitaire</u> .....	32
<b>II.5.6.5</b> <u>Les sorties des modèles numériques</u> .....	32
<b>II.6</b> <u>La brume</u> .....	33
<b>II.6.1</b> <u>Définition</u> .....	33
<b>II.6.2</b> <u>Composition</u> .....	33

<b>II.6.3</b> <u>Formation</u> .....	34
<b>II.6.4</b> <u>Type</u> .....	34
<b>II.6.4.1</b> <u>Brume radiative</u> .....	34
<b>II.6.4.2</b> <u>Brume d'advection</u> .....	35
<b>II.6.4.3</b> <u>Brume de précipitations</u> .....	35
<b>II.6.4.4</b> <u>Brume d'évaporation</u> .....	35
<b>II.6.4.5</b> <u>Brume de mer arctique</u> .....	35
<b>II.6.4.6</b> <u>Brume orographique</u> .....	35
<b>II.6.4.7</b> <u>Brume d'inversion</u> .....	35
<b>II.6.4.8</b> <u>Brume de vallée</u> .....	35
<u>Conclusion</u> .....	35
<b><u>Chapitre III : la PNT</u></b> .....	36
<u>Introduction</u> .....	37
<b>III.1</b> <u>définition de la PNT</u> .....	37
<b>III.2</b> <u>Les différentes fonctions des centres de PNT</u> .....	38
<b>III.3</b> <u>La grille du modèle numérique</u> .....	38
<b>III.4</b> <u>les étapes d'une prévision</u> .....	39
<b>III.5</b> <u>Les qualités des prévisions</u> .....	41
<b>III.6</b> <u>Prévisions du brouillard a l'aide des modèles de PMN</u> .....	41
<b>III.7</b> <u>Les étapes d'une prévision météorologique</u> .....	42
<b>III.8</b> <u>Les principaux modèles utilisés a l'ONM</u> .....	43
<b>III.8.1</b> <u>ALADIN</u> .....	43
<b>III.8.2</b> <u>ALADIN DUST</u> .....	44
<b>III.8.3</b> <u>AROME</u> .....	45
<b>III.8.3.1</b> <u>Usage opérationnel</u> .....	46
<b>III.8.3.2</b> <u>Evolutions</u> .....	47
<b>III.8.3.3</b> <u>A l'international</u> .....	48
<b>III.8.3.4</b> <u>A plus long terme</u> .....	48
<u>Conclusion</u> .....	48
<b><u>Chapitre IV : La validation</u></b> .....	49
<u>Introduction</u> .....	50

<b>IV.1</b> <u>Approche scientifique de la Routine de visibilité</u> .....	51
<b>IV.2</b> <u>les étapes de création de la configuration</u> .....	53
<b>IV.2.1</b> <u>Création de la nouvelle configuration AROME 1,3km</u> .....	54
<b>IV.2.2</b> <u>Lancement du modèle</u> .....	56
<b>IV.2.2.1</b> <u>Le couplage (Configuration e927)</u> .....	56
<b>IV.2.2.2</b> <u>la prévision (configuration e001)</u> .....	56
<b>IV.2.3</b> <u>Exploitation des Sorties du Modèle (FULLPOSS)</u> .....	57
<b>IV.2.3.1</b> <u>extraction des paramètres</u> .....	57
<b>IV.2.3.2</b> <u>traçage des paramètres</u> .....	59
<b>IV.2.3.3</b> <u>Méthodologie et données</u> .....	60
<b>IV.3</b> <u>Résultats et discussions</u> .....	63
<u>Conclusion</u> .....	65
<b><u>Conclusion générale</u></b> .....	66
Références bibliographiques.....	67
Annexe .....	69

## **Table des figures**

### **Chapitre I : généralité météorologique**

Figure I.01 : carte de tendance météorologique

Figure I.02 : table des échelles troposphériques

Figure I.03 : un diagramme qui montre la formation d'humidité

Figure I.04 : température du point de rosée

### **Chapitre 2 : la visibilité**

FigureII.01 : le transmissiomètre

Figure II.02 : le diffusomètre

Figure II.03 : Célomètre (à gauche) et Télémètre laser (à droite).

Figure II.04 : Nappe de brouillard à Lisbonne (Portugal) sous le pont du 25 Avril

Figure II.05 : caractéristique du brouillard

Figure II.06 : Le bilan énergétique à la surface de la Terre

Figure II.07 : Brouillard de rayonnement (radiatif).

Figure II.08 : Brouillard d'advection

Figure II.09 : Brouillard d'ascendance ou orographique.

Figure II.10 : Brouillard d'évaporation (fumée de mer).

Figure II.11 : Brouillard mixte (mélange)

Figure II.12 : Formation du brouillard

Figure II.13 : Phase mature du brouillard

Figure II.14 : Dissipation du brouillard

Figure II.15 : la brume

### **Chapitre III : la PNT**

Figure III.01 : Vue de la Terre découpée en une multitude de petites zones notons ici la grille horizontale et la grille verticale.

Figure III.02 : les étapes d'une prévision météorologique

Figure III.03 : Domaine Aladin

Figure III.04 : Domaine Aladin\_dust

Figure III.05 :domaine AROME

Figure III.06 :Evolution des cumuls mensuels du nombre d'observations par type d'observations dans Arome

## **Chapitre IV : La validation**

Figure IV.01: Configuration AROME 1,3km

Figure IV.02 : exemple de quelques blocs de la namelist e001 ( la clé LXVISI=.TRUE. active la routine qui calcule la visibilité ) .

Figure IV.03 : La commande « edf »

Figure IV.04 : Fichier descripteur du fichier .dat

Figure IV.05: capture sur une partie du Script GrADs

Figure IV.06 : emplacement de la grille AROME 1.3km et les points choisis pour la comparaison

Figure IV.04 : fichier descripteur du fichier .dat

Figure IV.06 : emplacement de la grille AROME 1.3km et les points choisis pour la comparaison

Figure IV.05: capture sur une partie du Script GrADs

## **Listes des tables :**

### **Chapitre I : généralité météorologique**

Table I.01 : tableau explique un exemple d'un METAR

### **chapitre IV : la validation**

Tableau IV.01 : tableau résume les caractéristiques de la nouvelle configuration AROME 1,3km ; 90 niveaux verticaux

Table IV.02 : format de la table de contingence

Table IV.03: table de contingence de toute la période étudiée

Table IV.04 : Scores calculés pour AROME 1,3km.

## Liste des abréviations :

**PM** : prévision météorologique .

**PMN** : prévision météorologique numérique .

**IBM** : International Business Machines Corporation

**ALADIN DUST** : Aire limitée Adaptation dynamique Développement International \_DUST

**SURFEX** : SURFace EXternalisée

**ALADIN** : Aire limitée Adaptation dynamique Développement INternational.

**AROME**: Application of Research to Operations at Mesoscale.

**ARPEGE** : Action de Recherche Petite Échelle Grande Échelle.

**BASH** : bourne-again shell

**UNIX**: Uniplexed Information and Computing System

**FORTRAN**: Formula Translator

**MAKDO** : maker domain

**CLIMAKE**: climatologic file maker

**PC**: Pourcentage correcte

**POD**: Probabilité de détection

**FAR**:Fausse alarme

**Bext** : Le coefficient d'extinction.

**CMC** : Centre Météorologique Canadien.

**CNRS** : Centre Nationale de la Recherche Scientifique.

**COBEL** : Code de Brouillard à l'Echelle Locale.

**EUMETSAT**: EUropean Organisation for the Exploitation of METeorological Satellites

**FSSP**: Forward-Scattering Spectrometer Probe.

**GEM –LAM**: Global Environnemental Multiscale-Limited Area Model.

**GEM** : Global Environnemental Multi-échelle / Global Environnemental Multiscale.

**GRADS** : Grid Analysis And Display System.

**HR** : Humidité Relative.

**HR<sub>g</sub>** : Humidité Relative de glace.

**IWC** : Ice Water Content / la teneur en eau glacé.

**LA** : Laboratoire d'Aérologie.

**LWC** : Liquide Water Content / Contenu en Eau Liquide.

**MESO-NH** : MESO échelle Non Hydrostatique.

**METAR**: METeorological Airport Reportmre : l'erreur relative moyenne.

**N** : La densité en nombre de particules.

**NCEP** : National Center Environmental Prediction /Centre National pour la Prévision Environnementale.

**N<sub>d</sub>** : La concentration numérique des gouttelettes.

**SMN** : service de meteorologie national

**NMM**: Nonhydrostatic Meso-scale Model.

**OACI** : Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

**OMM** : Organisation Météorologique Mondiale.

**ONM** : Office National de la Météorologie

**PAFOG** : Parametrized Fog.

**PNT** : Prévision Numérique du temps.

**POM** : Portée Optique Météorologique.

**Q<sub>ext</sub>** : Le coefficient d'extinction de Mie.

**r** : Le rayon des particules.

**RACE**: Radiation and Aerosol Cloud Experiment.

**rmse**: L'erreur quadratique moyenne.

**RUC** : Rapid-Update Cycle.

**T** : Température.

**T<sub>d</sub>** : Température du point de rosée / dew point.

**UTC**: Coordinated Universal Time.

**UV** : UltraViolet.

**Vis** : Visibilité.

**Vis<sub>cal</sub>** : Visibilité calculée.

**Vis<sub>k</sub>** : Visibilité Kunkel.

**BR**:brume

**SN**: snow

**BECMG**: becoming

**FM**: from

**RA**:rain

**SH**:shower

**TEMPO**: temporaire

**PROBXX:** probabilité de XX%

**IR:** infra rouge

**FG:** fog / brouillard

**Vis<sub>obs</sub> :** Visibilité observée

**$\beta_{rain}$  :** Coefficient d'extinction due aux précipitations.

**$\beta_{snow}$  :** Coefficient d'extinction due à la neige.

**$\beta_{graupel}$  :** Coefficient d'extinction due à la neige roulée.

**$\beta_{cld}$  :** Coefficient d'extinction due à l'eau liquide nuageuse.

**$\beta_{ice}$  :** Coefficient d'extinction due à la glace nuageuse

# Introduction

## **Introduction :**

La visibilité est un paramètre très important pour la sécurité de l'aviation en général et le pilote doit tenir en compte cet élément. Une baisse de visibilité assez forte peut rendre la circulation aérienne dangereuse ou impossible, des précautions doivent être prises et qui sont parfois très coûteuses. Et comme la visibilité est un paramètre météorologique. Ce paramètre atmosphérique change dans le temps, c'est-à-dire, que n'est pas constant donc il fallait plusieurs prévisions de visibilité pendant la journée pour une planification des vols sûrs et ordonnés et ça c'est le rôle des messages météorologiques (METAR, TAF, SPECI) qui sont fournis par L'ONM (office national de la météorologie) en Algérie. Ce bureau fournit toutes les informations météorologiques nécessaires pour le vol.

Pour toutes ces raisons, la communauté scientifique, notamment celle qui travaille dans le domaine de la météorologie, cherche à développer des systèmes de prévision et améliorer, sans cesse, la qualité de la prévision de ces phénomènes. Par ailleurs, pour développer ces systèmes de prévision il est très important de comprendre le mécanisme de formation ou de dissipation des brouillards lui-même par une meilleure analyse de leurs paramètres ce qui a poussé un ensemble de chercheurs à construire des modèles opérationnels qui servent à la prévision du brouillard.

Le système de prévision numérique de l'ONM repose sur l'exploitation d'une chaîne de modèles complémentaires. Le modèle ALADIN et le modèle à maille fine AROME qui sont tous les deux alimentés par la simulation issue du modèle global ARPEGE de METEO France. Le modèle AROME (application of research to operation at Mesoscale) est opérationnel par l'ONM depuis Mai 2014 pour la modélisation à l'échelle fine avec une résolution horizontale de 3 km et une résolution verticale de 41 niveaux, il est couplé à ALADIN toutes les heures avec 48 échéances. Il était conçu pour améliorer la prévision à courte échéance des phénomènes dangereux tels que les fortes pluies méditerranéennes, les orages violents, le brouillard...etc. La visibilité est un paramètre très complexe à prévoir et sur tout change d'un point de grille vers l'autre c'est pour sa plus la distance entre les deux points est petite plus la prévision et les résultats sont précis. Dans le cadre de mon mémoire de fin d'études, ce stage sera on a fait une étude sur la tendance du modèle AROME à prévoir la visibilité avec une résolution de 1.3km et 90 niveaux

verticaux et les résultats obtenus seront validés sur l'aérodrome d'Alger DAAG pour le but d'améliorer la prévision du brouillard et enfin on va valider notre travail.

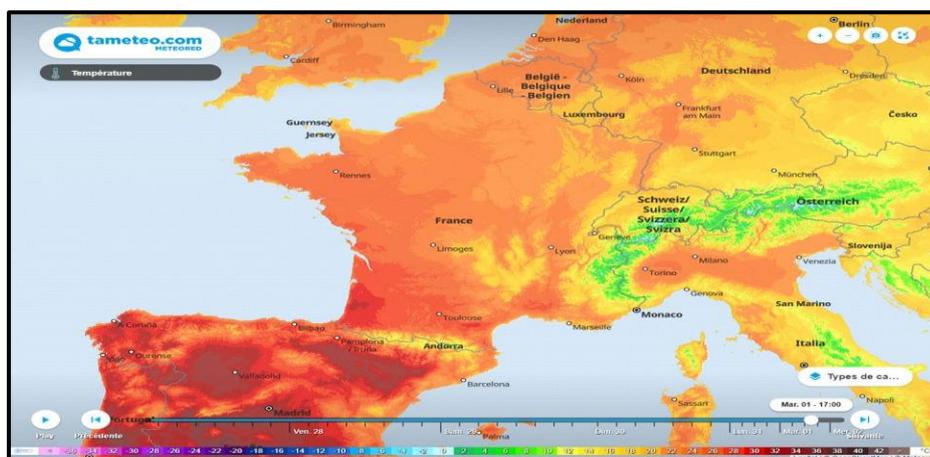
Après cette introduction nous introduirons, dans le premier chapitre, une généralité sur la météorologie pour faire une base de données pour notre projet de fin d'études. Le deuxième chapitre sera consacré à la visibilité et les phénomènes de brouillard et brume (type, formation, mesurage), les conditions météorologiques favorisant sa formation et sa dissipation. Le troisième chapitre donnera un aperçu général sur la prévision numérique du temps et les modèles utilisés pour la prévision du phénomène de brouillard. Nous allons aussi récapituler les différentes paramétrisations utilisées pour calculer les visibilités réduites par le brouillard. Le quatrième chapitre constituera la partie pratique de notre travail. Il regroupera la présentation du modèle AROME et les jeux d'expérience et simulation réalisée pour prévoir la visibilité à l'aide du modèle AROME. Nous présenterons, également, dans ce chapitre nos résultats et notre analyse. Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale.

# CHAPITRE I

## **Généralité météorologique**

**Introduction :**

Dans ce chapitre nous allons donner une généralité sur la météorologie pour faire une base de données pour notre projet de fin d'étude, on a définissons la météorologie, et quelque paramètres ayant une relation avec ce travail , les services qui assure la météorologie pour le secteur aérien en Algérie (ONM) et aussi les différents messages météorologiques ( METAR, TAF).



**Figure I.01 : carte de tendance météorologique**

**I.1 Définition :**

La météorologie est une science qui a pour objet l'étude des phénomènes atmosphériques tels que les nuages , les précipitations ou le vent dans le but de comprendre comment ils se forment et évoluent en fonction des paramètres mesurés tels que la pression, la température et l'humidité. Le mot vient du grec antique où météore désigne les particules en suspension dans l'atmosphère et logos veut dire discours ou connaissance.

C'est une discipline qui traite principalement la mécanique des fluides et la thermodynamique. Elle fait usage à différentes autres branches tels que la physique, la

chimie et les mathématiques. Purement descriptive à l'original, la météorologie est actuellement devenue un lieu d'application de plusieurs disciplines.

Pour ce faire elle doit s'appuyer sur un réseau cohérent d'observations. Le premier du genre concerne un territoire multinational étendu - apparaît en 1854, sous la direction du français le Verrier. Il a établi un réseau européen de données atmosphériques. Le réseau fonctionne de manière opérationnelle dès 1856.

La météorologie moderne permet d'établir des prévisions de l'évolution du temps en s'appuyant sur des modèles mathématiques à court, à moyen comme à long terme.

La météorologie a des applications dans des domaines très divers comme les besoins militaires, la production d'énergie, les transports (aériens, maritimes et fluviaux, terrestres), l'agriculture, la médecine, la construction, la photographie aérienne ou le cinéma. Elle est également appliquée pour la prévision de la qualité de l'air.

## **I.2 Instrumentation :**

La météorologie dépend de la collecte de la valeur des variables de l'atmosphère. Les instruments comme le thermomètre et l'anémomètre ont d'abord été utilisés individuellement, puis souvent regroupés dans des stations météorologiques terrestres et maritimes. Ces données ont été d'abord très éparses et prises par des amateurs. Le développement des communications et des transports a forcé les gouvernements de tous les pays à mettre sur pied au sein de leurs services météorologiques des réseaux d'observation et à développer de nouveaux instruments. Dans ces réseaux nationaux les instruments et leur implantation obéissent à des normes sévères, afin de biaiser le moins possible l'initialisation des modèles.

Le développement des ballons à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, puis des avions et des fusées au XX<sup>e</sup> siècle a permis de collecter des données en altitude. Finalement, les radars et satellites ont permis depuis la seconde moitié de ce siècle de compléter la couverture à l'ensemble du globe. La recherche continue d'améliorer les instruments et d'en développer de nouveaux.

## **I.3 Les échelles en météorologie :**

L'atmosphère est soumise à de nombreuses excitations extérieures comme le rayonnement solaire ou les interactions entre les continents et les océans. Ces

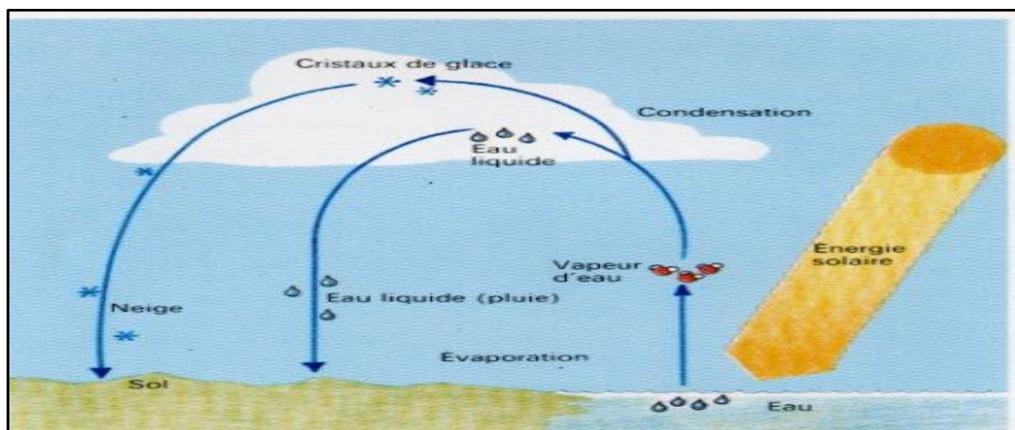
excitations sont cycliques (cycles journaliers ou saisonniers du rayonnement solaire) ou régulières, mais aussi très variables dans l'espace et le temps. En réaction, des mouvements de l'atmosphère se mettent en place pour réduire les hétérogénéités induites par l'extérieur et évoluer vers un état d'équilibre. Ces mouvements atmosphériques se produisent à des échelles d'espace et de temps très diverses. Les échelles sont en réalité très imbriquées malgré une dominance de certains phénomènes météorologiques à des échelles bien particulières.

En retenant les critères de taille et de durée, une classification usuelle des phénomènes météorologiques est généralement admise.

Echelle	Dimension spatiale	Dimension temporelle	Phénomènes météorologiques
Planétaire	10 000 km	> 1 semaine	Circulation de Hadley (Cf. 23) Moussons
Synoptique	1000 km- 100 km	Quelques jours	Dépressions et anticyclones Cyclones tropicaux
Mésoéchelle	100 km – 10 km	1 jour	Vents régionaux Brises thermiques Lignes de grains
Echelle aérologique	10 km – 100m	Quelques heures	Orages isolés Tornades Convection thermique
Microéchelle	m	Seconde, minute	Rafales Tourbillons de poussière

**Figure I.02** : table des échelles troposphériques

**I.4 L'humidité :**



**figure I.03** : un diagramme qui montre la formation d'humidité

L'humidité de l'air, ou degré hygrométrique, couramment notée  $\phi$ , correspond au rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur) à la même température. Elle est donc une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions. Ce rapport changera si on change la température ou la pression bien que l'humidité absolue de l'air n'ait pas changée. Elle est mesurée à l'aide d'un hygromètre. [01]

### **I.5 La température :**

La température est définie comme étant une quantité physique qui caractérise le mouvement aléatoire moyen des molécules dans un corps physique. La température est caractérisée par la conduction suivant laquelle deux corps en contact thermique soient à une température égale. Donc, la température représente l'état thermodynamique d'un corps, et sa valeur est déterminée par la direction du courant net de chaleur entre deux corps. Dans un tel système, le corps qui, en général perd la chaleur à l'autre, est dit à la plus haute température. Définir la quantité physique de température en relation avec le « statu d'un corps » est cependant difficile. Une solution a été trouvée en définissant une échelle de température internationalement approuvée basée sur la congélation universelle et le point triple de l'eau.

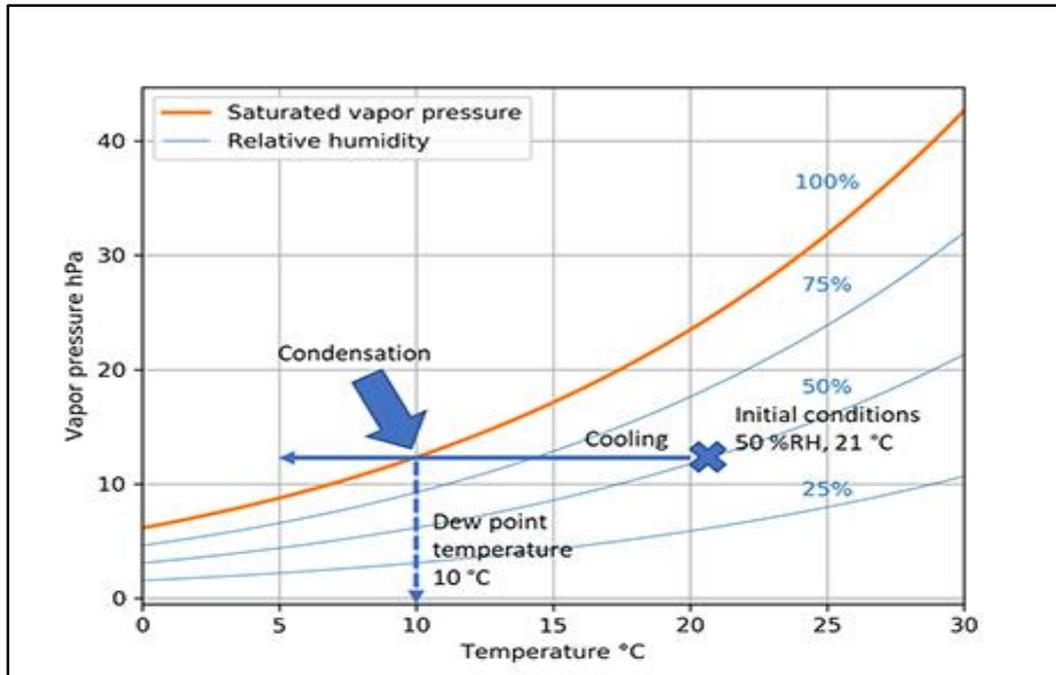
### **I.6 La température du point de rosée :**

Le point de rosée ou température de rosée est la température sous laquelle de la rosée se dépose naturellement. Plus techniquement, en dessous de cette température qui dépend de la pression et l'humidité ambiantes, la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense sur les surfaces, par effet de saturation.

En météorologie, la température de rosée est parfois utilisée pour estimer le niveau de confort, comme une température ressentie. La température de rosée détermine en effet si la transpiration s'évaporerait de la peau, causant ainsi un rafraîchissement de l'organisme. Par exemple, bien que les villes iraniennes de Qechm et Bam, situées à 300 km l'une de l'autre, affichent fin juillet des températures au thermomètre proches,

le climat est très lourd à Qechm (les eaux chaudes du golfe Persique le rendant très humide) alors qu'il reste confortable à Bam (située dans un désert très sec).

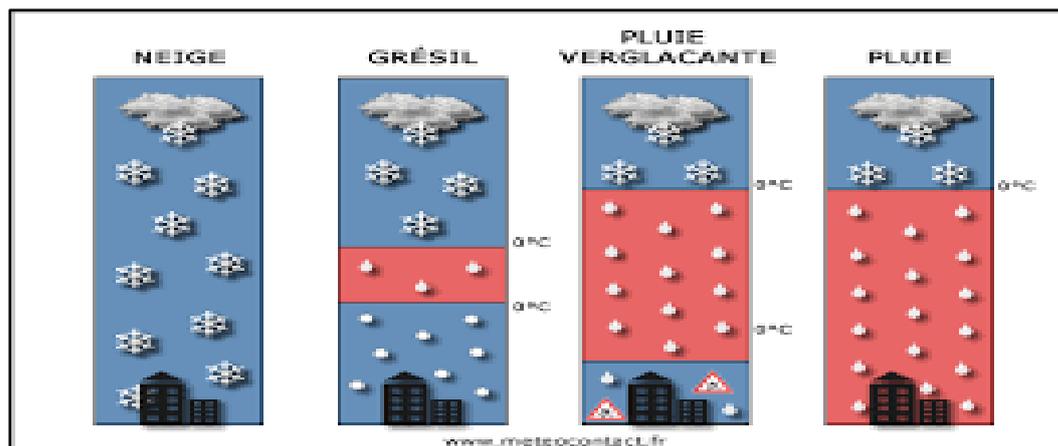
Contrairement à la température, qui varie généralement considérablement entre le jour et la nuit, les points de rosée varient plus lentement. Ainsi, bien que la température puisse chuter la nuit, une journée lourde est généralement suivie d'une nuit lourde.



**Figure I.04** : température du point de rosée

### **I.7 Les précipitations :**

La précipitation est définie comme les produits liquides ou solides de la condensation de la vapeur d'eau qui tombent des nuages ou sont déposés par l'air sur la terre. Elle inclut la pluie, la grêle, la neige, la rosée, la rime, le gel du givre et la précipitation du brouillard. Le montant total de précipitation qui atteint la terre dans une période énoncée est exprimé à la profondeur verticale d'eau (ou eau équivalent dans le cas de formes solides) auquel il couvrirait une projection horizontale de la surface du sol. La chute de neige est aussi exprimée par la profondeur de frais, récemment la neige baissée qui couvre une même surface horizontale.[02]



**Figure I.05** : Schéma des différents types de précipitation [03]

### **I.8 Les services qui assurent la météorologie en Algérie :**

Selon le circulaire N°1809 l'office national de météorologie est contribue à assurer la sécurité et la protection des personnes et des biens grâce à son système «Veille Météorologique Nationale Permanente ».

En prenant en charge la surveillance permanente du temps, l'Office diffuse, sur la base des données et des informations recueillies en temps réel, à travers le système de télécommunication météorologique mondial :

Un Bulletin de Prévision du Temps couvrant l'ensemble du territoire national,  
Des bulletins de vigilance et de prévisions météorologiques.

L'ONM offre des services en matière de prévisions, de climatologie, d'installation et de maintenance, de formation et d'attestation météorologique.

. Les prévisions fournies sont à échéance ou spécifiques. Pour ce qui est des prévisions à échéance, l'ONM établit des bulletins de prévisions pour les paramètres relatifs à la température, au vent, à l'état du ciel et aux phénomènes (gel, tempêtes...) pour des échéances courtes de 24 à 48 heures et pour les échéances moyennes de 3 à 5 jours et ce pour une commune, une ville, une région ou pour tout le pays.

Pour ce qui est de la climatologie, les données recueillies concernent les pluies quotidiennes, les maximales de pluie en 24 heures, le dépassement de seuil, le nombre de jours de pluie, la durée et le cumul mensuels, le temps quotidien ou annuel de retour des pluies..., la moyenne mensuelle des températures moyennes et maximales, les températures minimales et maximales absolues, l'amplitude diurne moyenne

mensuelle des températures), la vitesse moyenne du vent aux heures synoptiques, la moyenne mensuelle des vitesses du vent moyen et maximal, le vent maximal absolu, la répartition fréquentielle du vent et classe de vitesse- rose de vent., l'humidité relative, l'évaporation mensuelle et durée mensuelle de l'isolation totale. Ces données sont recueillies selon une fréquence horaire, tri horaire (toutes les 3 heures à partir de 00 heure) quotidienne, décadaire, mensuelle et annuelle. Elles sont aussi recueillies selon des normales climatologiques ou périodes de référence et selon l'historique des stations météorologiques.

Concernant l'installation et la maintenance, il s'agit du contrôle, de l'ajustage, du calibrage et de l'étalonnage d'un instrument météorologique, la maintenance préventive et curative d'une station, l'assistance technique en matière d'acquisition d'instrumentation météorologique, l'étude de site d'installation d'une station météorologique et les travaux d'installation d'instruments météorologiques.

Un autre service concerne l'attestation météorologique, fournie par l'ONM pour une journée, un mois...à la demande de ses clients. Cette attestation, qui prend en compte un ou plusieurs paramètres relatifs aux précipitations, à la température, aux vents, à l'humidité, aux orages, aux brouillards...enregistrés dans les stations synoptiques et /ou dans le réseau auxiliaire, se base sur les mesures ou les observations de phénomènes définis et enregistrés par la station météorologique la plus représentative du site assuré. Ceci est d'autant plus possible pour l'ONM que toutes les observations sont référencées par dates et heures. Dans certains cas, le document de l'attestation prend en référence les observations de plusieurs stations représentatives du site concerné. **(01)**

### **I.9 Les messages météorologie :**

#### **I.9.1 METAR :**

Un METAR (officiellement METeorological Aerodrome Report<sup>1</sup> mais parfois défini par METeorological Airport Report) est un rapport d'observation (et non de prévision) météorologique pour l'aviation.

Ce code international a été développé par les membres de l'Organisation de l'aviation civile internationale et est approuvé par l'Organisation météorologique mondiale.

Les données de base sont communes à tous les pays, mais certaines sections du code sont sujettes à des variantes locales. Contrairement à son titre, le code est non seulement utilisé dans les messages provenant des aéroports, mais également de toute station météorologique terrestre qui font partie d'un service météorologique national, comme les stations météorologiques automatiques en région.

Les messages METAR sont mis à jour régulièrement, souvent entre 30 minutes à 60 minutes pendant les heures d'ouverture du terrain, selon son équipement et l'éventualité d'un changement important du temps observé.

Un METAR contient diverses informations, entre autres:

- le code OACI de l'aéroport ou aéroport pour lequel est émis le METAR
- la date de l'observation
- le vent
- la visibilité horizontale
- les nuages
- la température et le point de rosée
- la pression au niveau de la mer
- les remarques et données additionnelles éventuelles.

Exemple de METAR français : *METAR LFAQ 201630Z 18005KT 4000 -SHRA SCT030 BKN050 18/12 Q1014 NOSIG=*

<i>METAR</i>	Nature du message, ici : METAR
<i>LFAQ</i>	Code OACI de l'aéroport (ici : aéroport de St-Omer/Wizernes)
<i>201630Z</i>	observation pour le 20 du mois à 16h30 UTC (Z, prononcé "Zoulou", signifie : UTC)
<i>18005KT</i>	Vent du 180° (Sud), vitesse 5 nœuds (1 kt = 1,852 km/h)
<i>4000</i>	Visibilité horizontale de 4 km ("9999" signifierait "supérieure à 10 km")
<i>-SHRA</i>	Averses (SH = <i>shower</i> ) de pluie (RA = <i>rain</i> ) de faible intensité (-)
<i>SCT030</i>	Nuages épars (SCT = <i>scattered</i> ) à 3000 pieds
<i>BKN050</i>	Nuages fragmentés (BKN = <i>broken</i> ) à 5000 pieds

18/12	Température +18 °C, point de rosée +12 °C
Q1014	Pression de 1014 hPa QNH (rapportée au niveau de la mer)
NOSIG	Pas d'évolution prévue pour les 2 heures à venir
=	Fin du message

**table I.01** : tableau explique un exemple d'un METAR

### **I.9.2 TAF :**

Une prévision d'aérodrome ou TAF (de l'anglais *Terminal Aerodrome Forecast* erronément pensé par certains comme *Terminal Airport Forecast* ), est une prévision météorologique valide pour 6 à 30 heures pour un aérodrome (terme plus large qu'aéroport qui ne définit que les aérodromes avec aérogare et tour de contrôle) et qui utilise un encodage similaire au format METAR. La période couverte par ces prévisions dépend des heures d'utilisation du site, de son importance et de la longueur des vols qui s'y rendent, le tout servant à la planification pour les transporteurs aériens. Ce ne sont pas tous les aérodromes qui auront des TAF, ceux à usage local ou récréatif utilisant en général les prévisions régionales à l'aéronautique.

Ces prévisions sont émises par les météorologues des pays où se trouvent les aéroports à partir des centres régionaux de prévision météorologique ou de centres spécialisés pour l'aviation, selon le pays. Ils utilisent les modèles de prévision numérique du temps et leur connaissance des effets locaux afin de prévoir la hauteur des nuages, les vents, les précipitations et la visibilité pour une zone de 10 milles marins (18,52 km) autour de l'aérodrome.

Les TAF ont une syntaxe particulière, qui peut paraître assez complexe. Les termes utilisés dans ce code sont des abréviations qui proviennent de diverses langues car il s'agit d'un code international (ex. SN pour snow/neige mais BR pour mist/brume). Cependant, les abréviations sont le plus souvent anglophones.

Les unités sont également variables et proviennent de l'histoire du développement de l'aviation ainsi que de l'influence américano-britannique dans le domaine. On utilise ainsi les pieds pour la hauteur des nuages et les nœuds pour la vitesse des vents.

Certaines unités peuvent cependant varier selon la région. On utilise par exemple le mètre par seconde en Russie pour la vitesse des vents, les milles terrestres pour la visibilité en Amérique mais les mètres en Europe, le tout avec l'accord de l'OACI.

En plus, des phénomènes obligatoires décrits ci-dessus, on peut avoir des sections supplémentaires comme des remarques ou des précisions comme pour signaler la présence de turbulence, etc. On a ainsi des accords régionaux sur ce contenu (Amérique du Nord, Europe, Asie, etc.).

Un TAF est divisé en différentes sections. Il débute en donnant l'aéroport de prévision, le temps d'émission et la période de validité. Les sections suivantes donnent la prévision de vent, de visibilité, de type de précipitations et de couche nuageuse pour chaque période temps significative :

**BECMG** (*becoming* en anglais) désigne un changement complet graduel des conditions durant une certaine période ;

**FM** (*from* en anglais) désigne un changement rapide des conditions à une heure donnée ;

**TEMPO** (temporaire) désigne une condition qui peut survenir temporairement durant la période citée, pas plus de la moitié du temps ;

**PROBXX** (probabilité de XX pour cent) désigne la probabilité qu'une condition plus dangereuse survienne pendant la période durant un très court laps de temps. Par exemple, le risque qu'un orage survienne.

Lorsqu'une nouvelle période est indiquée, la prévision peut donner tous les éléments du temps durant cette période s'ils sont très différents de la précédente mais peut également mentionner seulement ceux qui vont changer au-dessus de critères donnés. Par exemple, si seule la direction du vent change de façon significative, la nouvelle période dans le TAF n'indiquera que le changement de vent. Les critères de changement significatif pour chaque élément du temps est particulier à un aéroport donné, selon les instruments à la navigation dont il dispose, en plus du passage entre les conditions de vol aux instruments et vol à vue. **[04]**

Exemple :

**TAF :**

KOKC 051130Z 051212 14008KT 5SM BR BKN030 TEMPO 1316 1 1/2SM BR  
FM1600 16010KT P6SM SKC  
BECMG 2224 20013G20KT 4SM SHRA OVC020 PROB40 0006

2SM TSRA OVC008CB

BECMG 0608 21015KT P6SM NSW SCT040 ≡

### **Conclusion :**

Sont présentées dans cette section quelques généralité météorologiques pour faire une petite base de données a fin de bien comprendre le thème de notre mémoire.

# **Chapitre II**

## **La visibilité**

### **Introduction :**

Ce chapitre sera dédié à la présentation du paramètre « visibilité » qui est le sujet de notre problématique et aussi les phénomènes qui diminuent cette dernière (brouillard, brume), les types et la méthode de mesurage.

### **II.1 Définition :**

C'est la distance jusqu'à laquelle un observateur situé près du sol ou de la mer peut voir et identifier un objet dans une direction donnée de l'atmosphère, à un instant et en un lieu déterminés, est une grandeur que l'on peut mesurer en mètres ou kilomètres, en milles, en pieds, ou encore suivant une échelle, et que l'on appelle la visibilité en ce lieu et à cet instant dans la direction choisie. La connaissance d'une telle grandeur est d'une évidente utilité dans bien des domaines, à commencer par les transports, où son usage, primordial en météorologie aéronautique, est important aussi en météorologie marine, dans la circulation routière, etc. On peut d'emblée supputer qu'elle est étroitement liée aux conditions météorologiques, qui déterminent la transparence de la portion d'atmosphère observée, c'est-à-dire son aptitude à se laisser traverser par une fraction plus ou moins grande des flux de rayonnement visibles qui y ont pénétré sans que ceux-ci y aient subi de réflexions, de rétrodiffusions ou d'absorptions empêchant leur parcours d'atteindre le lieu d'observation ; la transparence, déjà limitée par la diffusion et l'absorption dans l'air sec, se trouve amoindrie par la présence de nuages à la verticale, par celle de nappes de brouillard ou de brume à l'horizontale et, dans toutes les directions, par la chute de précipitations, par l'existence de poussières, de sables, de brumes sèches et d'aérosols solides ou liquides et par l'absorption due à la vapeur d'eau et à certains polluants gazeux : la visibilité, en tant qu'évaluation empirique de la transparence, permet alors d'apprécier la "pureté" (optique) de l'air au lieu et à l'instant considérés. Plus l'air est sec, turbulent et (chimiquement) pur, plus grande y sera la transparence et donc la visibilité.

Celle-ci peut n'être mesurée que sur la même verticale que l'observateur (vers le haut ou vers le bas) : il s'agit alors de la visibilité verticale. En l'absence de brouillard, un paramètre plus utile que cette dernière au sol est, surtout en météorologie aéronautique, la hauteur de la base des nuages de la couche la plus basse associée à

une nébulosité donnée : cette hauteur est mesurée par des instruments appelés télémètres de nuages ou *céломètres* (la nuit, ils peuvent être de simples projecteurs) ; en particulier, la hauteur à partir de laquelle la nébulosité atteint la moitié au moins de la voûte céleste détermine le plafond au-dessus du lieu d'observation.

En l'absence d'autre précision, la "visibilité" que l'on mesure est implicitement la visibilité horizontale, distance maximale à laquelle un observateur peut voir et identifier un objet situé à proximité du plan horizontal sur lequel il se trouve lui-même (quand on se réfère aux objets situés ailleurs que sur le plan horizontal et la verticale qui passent par le lieu d'observation, on évalue par définition la visibilité oblique). Cette visibilité horizontale est en réalité délicate à définir et mesurer, car elle met en jeu certaines propriétés physiques et physiologiques de l'œil humain, étudiées par la science de la photométrie, et qui modulent l'influence du flux de rayonnement en provenance de l'arrière-plan et celle du contraste entre l'objet et cet arrière-plan : en principe, il faudrait au moins évaluer la visibilité d'un objet noir de dimensions appropriées, sur fond de ciel ou de brouillard, et supposer lors d'une mesure nocturne que l'objet est observé comme si l'éclaircissement général augmentait jusqu'à atteindre l'intensité normale de la lumière du jour ; en pratique, la visibilité peut être mesurée autour d'une station météorologique en effectuant les observations sur divers repères — bâtiments, collines, rideaux d'arbres, etc. — dont les distances à la station sont connues et en moyennant les résultats ainsi obtenus dans plusieurs directions, tandis que de nuit l'on mesure la distance jusqu'à laquelle peuvent être vues et identifiées des sources lumineuses d'intensité modérée. Cependant, les mesures plus précises ou plus spécialisées doivent faire appel à des instruments déjà évolués. [05]

### **II.2 La visibilité aéronautique :**

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) définit la visibilité comme la distance la plus grande à laquelle un objet noir de dimensions appropriées peut être vu et identifié de jour sur le fond du ciel à l'horizon ou, quand il s'agit d'observations de nuit, pourrait être vu et identifié si l'éclaircissement général augmentait jusqu'à atteindre l'intensité normale en lumière du jour. [01]

### **II.3 Conditions météorologiques réduisant la visibilité :**

La visibilité est importante pour toutes les formes de circulation : routes, navigation et aviation. C'est pour cela que les véhicules et certains éléments du sol (pistes d'atterrissage, virages, etc.) sont balisés par des lampes ou des surfaces réfléchissantes, tels des catadioptres. Les éléments qui peuvent réduire la visibilité sont :

- l'eau liquide en suspension dans l'air (brume, brouillard, nuages) ;

Les aérosols en suspension qui forment la brume sèche ;

- les précipitations liquides (pluie) ou solides (neige) ;

Les fumées, en particulier lors des feux de forêt ;

- les tempêtes de sable dans les déserts ;

Le blizzard ;

- la poudrierie (chasse-neige élevée) et les bourrasques de neige

Réduction de visibilité

- Brouillard Brouillard givrant Brume Brume sèche

**Caractéristiques.**

#### **II.3.1 Brouillard :**

En météorologie, le **brouillard** indique un manque de transparence de l'atmosphère liée à la présence de fines gouttelettes d'eau en suspension dans l'air, d'une densité telle que la visibilité est inférieure à 500 m. Quand cette visibilité dépasse 500 m, on emploie le terme de brume et non plus de brouillard.

#### **II.3.2 Brouillard givrant :**

Un brouillard peut quelquefois se former à température négative : alors, les gouttelettes d'eau dont il est composé sont en état de surfusion et gèleront instantanément au contact des objets de toute nature qu'enveloppe le brouillard — végétation, lignes électriques, etc. ; ces objets seront ainsi couverts de givre, d'où l'appellation de brouillard givrant. À l'image des précipitations verglaçantes, ce type de brouillard présente un péril pour la circulation automobile en sus de la mauvaise visibilité qu'il entraîne.

#### **II.3.3 Brume :**

La brume est un amas de fines gouttelettes ou de fins cristaux de glace qui se sont formés sur des particules hygroscopiques microscopiques, lorsque l'air est

devenu sursaturé par rapport à l'eau ou à la glace, et qui réduisent la visibilité en surface. C'est une des formes de l'eau météoritique.

On parle de brume lorsque la visibilité est comprise entre 1 et 5 kilomètres. En météo marine, le terme de brume remplace celui de brouillard.

### **II.3.4 Brume sèche :**

Est une réduction de la visibilité par des particules hygroscopiques microscopiques suspendues dans l'air et qui donnent une visibilité réduite dans de l'air non saturé de vapeur d'eau. Elle se distingue du brouillard par sa teinte bleuâtre ou jaunâtre. Elle se différencie de la brume de poussière en ce qu'elle ne laisse pas de dépôt visible au sol (la brume de poussière est définie comme étant de la poussière en suspension dans l'air d'une manière généralisée), non soulevées par le vent au point d'observation ou à ses alentours au moment de l'observation.

### **II.3.5 La pollution :**

Est la destruction ou dégradation d'un écosystème ou de la biosphère par l'introduction, généralement humaine, d'entités (physiques, chimiques ou biologiques), ou de radiations altérant le fonctionnement de cet écosystème<sup>1</sup>. La pollution a des effets importants sur la santé et la biosphère, comme en témoigne l'exposition aux polluants et le réchauffement climatique qui transforme le climat de la Terre et son écosystème, en entraînant l'apparition de maladies inconnues jusqu'alors dans certaines zones géographiques, des migrations de certaines espèces, voire leur extinction si elles ne peuvent s'adapter à leur nouvel environnement biophysique.

### **II.3.6 La fumée :**

ou boucane au Québec et en Acadie, est un nuage de gaz, de vapeurs (plus ou moins chaudes) et de particules solides émis par un feu, certaines réactions chimiques ou un échauffement mécanique. Ces particules sont principalement de la suie (du carbone imbrûlé), ainsi que des cendres volantes ; Souvent la fumée contient aussi une grande quantité de composants métalliques et organiques en faible quantité, mais qui pour beaucoup sont toxiques.[06]

### **II.4 La mesure de visibilité :**

Pour mesurer la visibilité horizontale, les météorologistes utilisent des repères visuels qui se trouvent à une distance connue du point d'observation (un château d'eau, un bâtiment, une colline, etc.). Si l'on peut apercevoir nettement les contours d'un des repères sur fond de ciel, la visibilité est au moins égale à la

distance qui sépare le repère du point d'observation. Il existe également des appareils de mesure de la visibilité. [07]

#### II.4.1 Le transmissiomètre :



**Figure II.01** : le transmissiomètre

Est un instrument de mesure de la visibilité enregistrant l'atténuation d'un faisceau de lumière traversant un fluide sur une certaine distance. Le faisceau concentré, en général émis par un laser, traverse le milieu et est capté en fin de trajet par un récepteur dont l'angle de vision est restreint à la direction de la source du faisceau.

#### II.4.2 Le diffusomètre optique :



**Figure II.02** : le diffusomètre

Est un appareil qui consiste en un émetteur lumineux (lampe) et d'un récepteur. Les deux sont placés à un angle ajustable mais généralement autour de  $35^\circ$  de l'horizontale, pointant vers une direction commune. Le coefficient d'extinction de l'onde émise est mesuré à partir de la diffusion latérale sur des particules dans l'air, telles la brume, qui se trouve entre l'émetteur et le récepteur. Le principal défaut de la

mesure par cet instrument est qu'elle est faite dans un petit volume d'atmosphère, pas toujours représentatif de la visibilité générale.

### **II.4.3 Le célomètre :**



**Figure II.03 :** Célomètre (à gauche) et Télémètre laser (à droite).

Est un laser qui émet à la verticale et dont le récepteur perçoit les retours de lumière venant des obstructions. En général, on l'utilise pour connaître la hauteur de la base des nuages mais des obstructions partielles comme la brume vont retourner un signal diffus qui peut être interprété comme la visibilité verticale. Plus récemment, les célomètres laser ont été développés. Il s'agit d'un télémètre laser qui émet une impulsion lumineuse verticalement et la hauteur du plafond est calculée par la mesure du temps entre l'émission et le retour du signal ayant été réfléchi par la base du nuage

## **II.5 LE BROUILLARD**



**Figure II.04 :** Nappe de brouillard à Lisbonne (Portugal) sous le pont du 25 Avril.

**II.5.1 Définition :**

Est la suspension dans l'atmosphère de très petites gouttelettes d'eau (le diamètre des gouttelettes du brouillard atteint 1 à 10 microns de diamètre) réduisant la visibilité au sol à moins d'un kilomètre. Les gouttelettes d'eau sont maintenues en suspension par les mouvements turbulents de l'air, leurs charges électriques identiques les écartent les unes des autres.

C'est un phénomène basique et assez courant en automne et en hiver, pourtant régi par des lois physiques assez complexes et est surtout l'un des phénomènes météorologiques les plus difficilement prévisibles.

"Le brouillard est en fait un nuage qui réduit la visibilité à moins d'un kilomètre et dont la base touche le sol".

Ils se notent par deux ou trois traits horizontaux sur les cartes météo :

<b>Abréviation METAR</b>	FG
<b>Symbole</b>	≡
<b>Classification</b>	Nuage bas (Famille C)
<b>Altitude</b>	Surface

**Figure II.05 :** caractéristique du brouillard

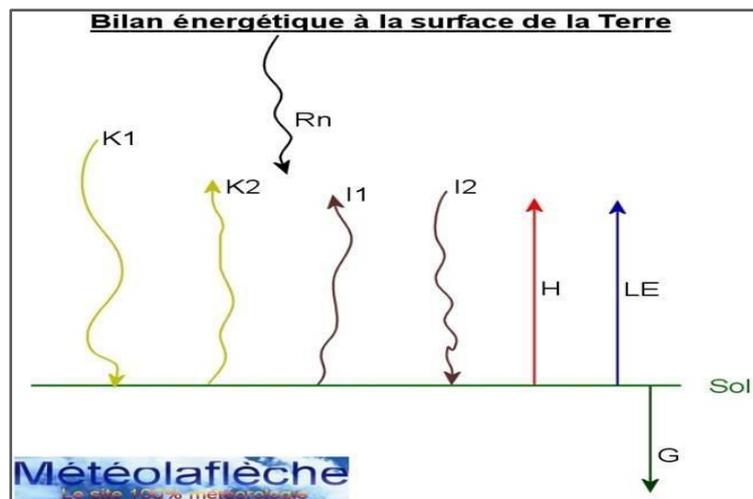
**II.5.2 Paramètres qui défavorisent la formation des brouillards :****II.5.2.1 Météorologique :**

Pour qu'un brouillard se forme, plusieurs conditions doivent être réunies : des températures basses et un taux d'humidité élevé afin que la vapeur d'eau se condense. Il faut également qu'il y ait dans l'air un certain nombre de particules, solides ou liquides. Appelées noyaux de condensation, elles permettent aux gouttes d'eau de se fixer dessus et de s'accumuler pour former progressivement le brouillard. La quantité d'eau sous forme de vapeur se condense en gouttelettes doit être au moins de 0.5 g/Kg

d'air. Autre condition, le vent ne doit être ni trop fort pour éviter la dispersion des gouttelettes d'eau, ni trop faible, car cela empêche leur suspension dans l'air.

Il existe plusieurs processus par lesquels la vapeur d'eau se condense au voisinage de la surface terrestre et donc plusieurs types de brouillard.

### II.5.2.2 Physique :



**Figure II.06 :** Le bilan énergétique à la surface de la Terre

Le bilan énergétique à la surface de la Terre.

Avec :

K1 : flux solaire incident transmis.

K2 : flux solaire incident réfléchi vers l'espace. I1 : flux infrarouge émis par la surface.

I2 : flux infrarouge reçu par la surface.

H : flux de chaleur sensible (flux turbulent). LE : flux de chaleur latente (flux turbulent). G : flux de chaleur échangé avec le sous-sol. Rn : flux radiatif net.

Sur 24 heures, l'ensemble des flux radiatifs et des flux turbulents s'équilibrent :  $Rn =$

$$K1 + K2 + I1 + I2 = H + LE - G \quad [12]$$

Paramètres qui défavorisent la formation des brouillards :

- Forte turbulence ou vent fort supérieur à 10 nœuds : l'air humide se mélange avec l'air sec ce qui empêche la saturation.
- Vent nul ou vent trop faible sur les premiers mètres au-dessus de la surface terrestre
- Ciel nuageux : réduit le refroidissement radiatif du sol

- Forte dépression de la température du point de rosée : ce qui mène à un refroidissement moins intense.[08]

### **II.5.3 Processus de formation :**

Les différents processus de formation de brouillard sont bien connus, mais leur localisation et leur intensité restent difficiles à prévoir avec précision.

On en déduit les 3 processus fondamentaux de formation du brouillard :

Le refroidissement de l'air au voisinage du sol peut se produire suivant 3 processus indépendants et éventuellement cumulatifs :

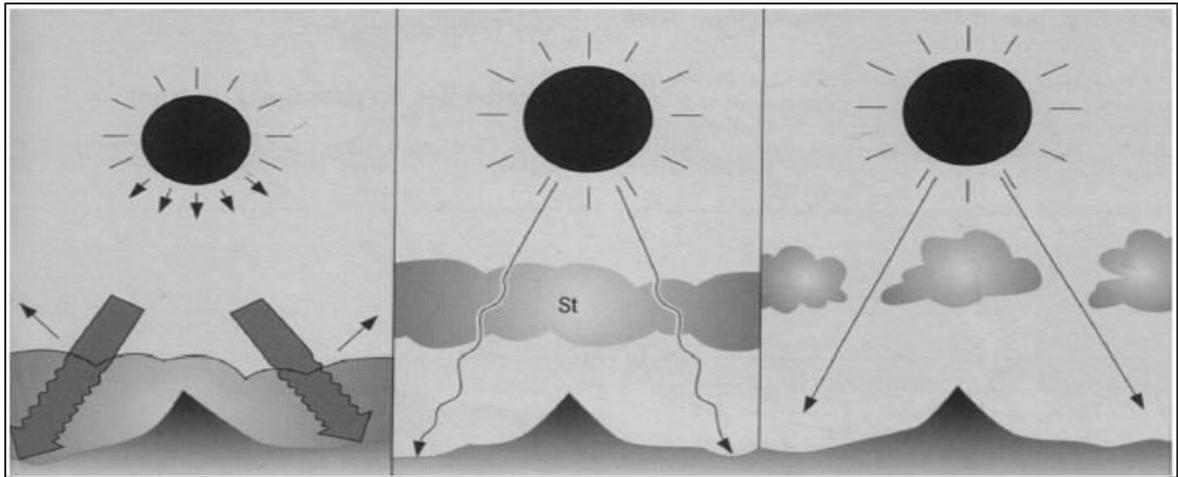
- rayonnement du sol (brouillard radiatif).
- contact avec un sol froid (brouillard d'advection).
- détente adiabatique le long d'une pente (Brouillard d'ascendance).
- Brouillard dû à l'apport de vapeur d'eau (brouillard d'évaporation).
- mélange de masses d'air (brouillard mixte).

### **II.5.4 développement des brouillards :**

Le brouillard peut se former de différentes manières. Une distinction est faite en termes de développement entre brouillard de rayonnement, d'advection, d'évaporation, d'ascendance et le brouillard mixte, qui sont les principaux brouillards. Il arrive que ces différentes formes apparaissent de manière combinée. [09]

#### **II.5.4.1 Brouillard de rayonnement (radiatif)**

Il se forme par refroidissement nocturne de la surface terrestre, généralement en fin de nuit. Ce brouillard est typiquement terrestre et peut persister plusieurs jours en période hivernale. Il se forme généralement durant la nuit à cause du rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre et le refroidissement associé de la couche d'air basse. Il se dissipe en matinée sous l'action du rayonnement solaire, en commençant par la base, évoluant parfois en une couche de nuages bas (stratus).



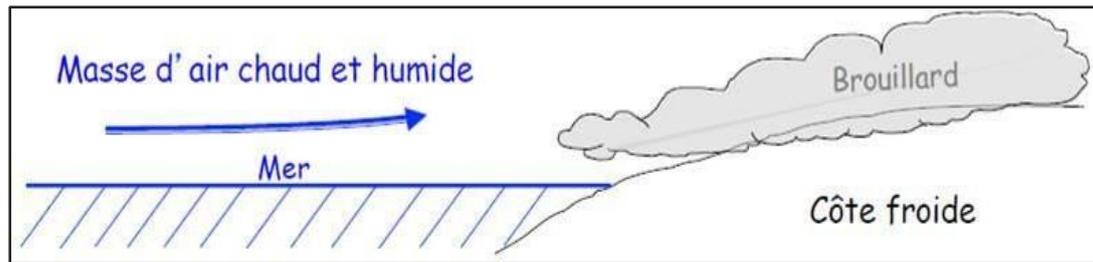
**Figure II.07 :** Brouillard de rayonnement (radiatif).

#### **II.5.4.2 Brouillard d'advection :**

Un brouillard d'advection se forme lorsqu'une masse d'air chaud et humide se déplace sur une surface relativement froide. La base de cette masse d'air se refroidit au contact de la surface froide et ce refroidissement se propage sur une certaine épaisseur. Le refroidissement entraîne la condensation de la vapeur d'eau en minuscules gouttelettes maintenues en suspension par la turbulence et le vent léger. Ce brouillard est rarement très dense (visibilité rarement inférieure à 100 m), mais son épaisseur verticale est importante et il peut se former à tout moment de la journée. Il existe deux types de brouillard d'advection : le brouillard d'advection chaud et Le brouillard d'advection froid.

C'est la forme de brouillard qui dure le plus longtemps ; il peut persister pendant plusieurs jours, voire semaines selon les circonstances. Leur dissipation se produit avec le réchauffement de la surface froide ou par un changement de masse d'air, au passage d'un front par exemple.

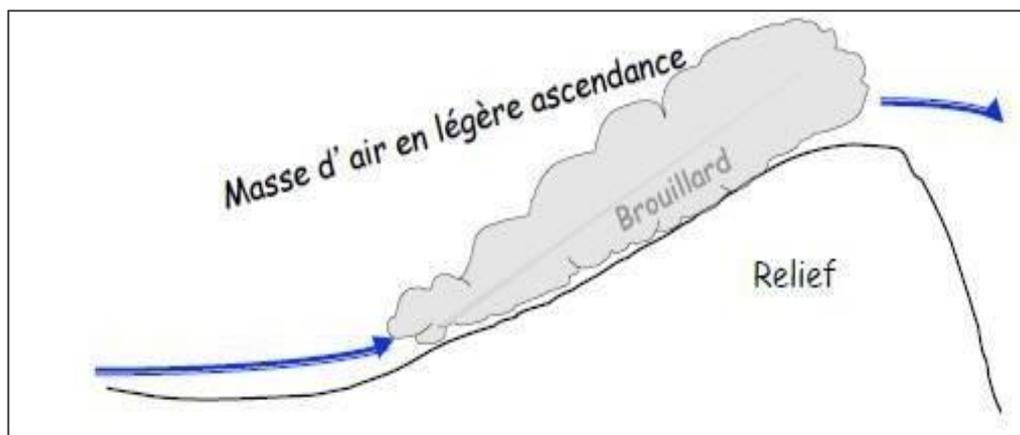
**Note :** le smog est un type de brouillard d'advection, il se présente dans les agglomérations urbaines.



**Figure II .08** : Brouillard d'advection.

#### **II.5.4.3 Brouillard d'ascendance ou orographique :**

Dans les régions présentant un relief marqué, il est possible d'observer un brouillard se formant le long des pentes et laissant la vallée dégagée. Cela se produit lorsqu'un vent faible pousse de l'air chaud et humide provenant de la vallée à l'assaut du relief. En s'élevant l'air se refroidit par détente adiabatique et atteint son point de condensation. Un brouillard se condense alors le long de la pente, aussi appelé brume de montagne. Le brouillard est visible sous la forme d'un nuage autour du sommet de la montagne.



**Figure II.09** : Brouillard d'ascendance ou orographique.

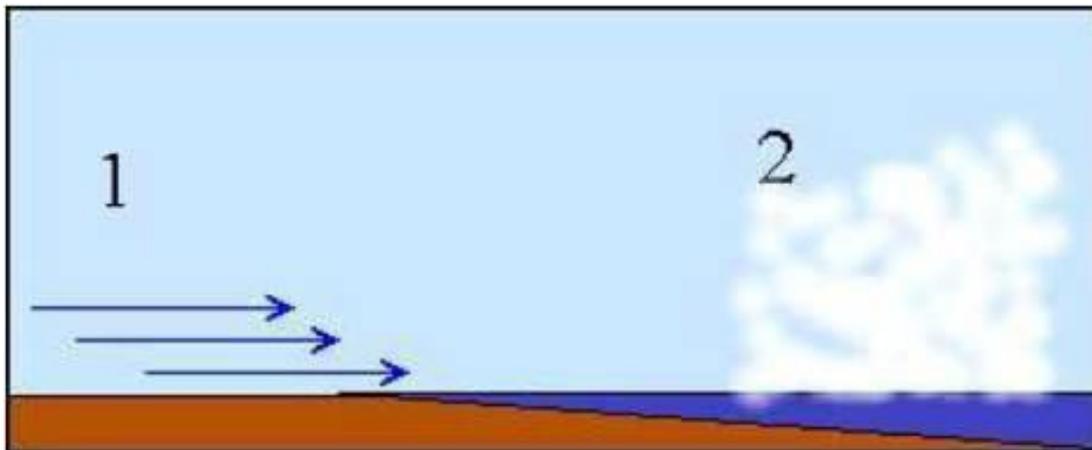
#### **II.5.4.4 Brouillard d'évaporation (fumée de mer) :**

C'est un brouillard qui se forme sur les grandes étendues d'eau (lacs ou mers).

Un vent faible mais froid souffle depuis la terre vers la mer. Cet air froid et sec se charge en humidité par évaporation de l'eau au-dessus de laquelle il passe. Il atteint alors la saturation (point de rosée) et des gouttelettes d'eau se condensent au-dessus

de la mer. Le même mécanisme peut se produire au-dessus d'un lac ou d'étendues marécageuses.

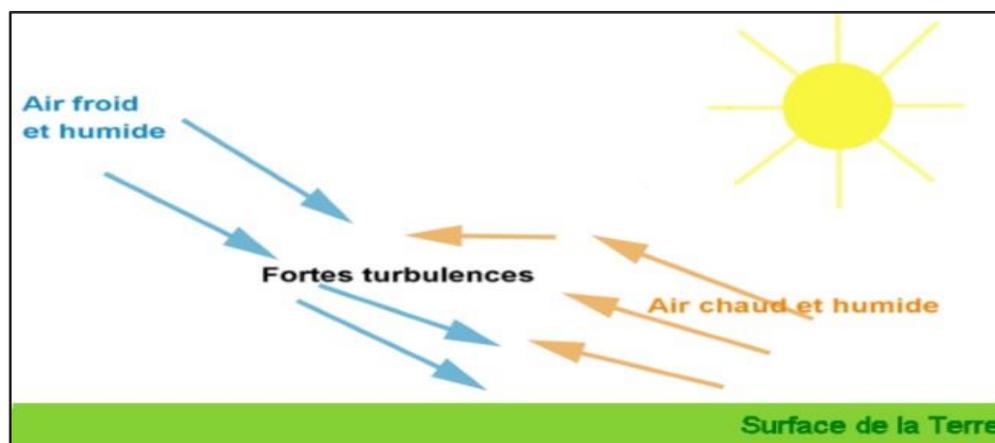
Ce type de brouillard peut se former par exemple en Méditerranée en hiver quand de l'air froid à  $-5$  ou  $-10$  °C s'écoule des Alpes vers la mer. Il se forme également après des précipitations orageuses. Il existe deux types de brouillard d'évaporation : le Brouillard de vapeur et le Brouillard frontal.



**Figure II.10 :** Brouillard d'évaporation (fumée de mer).

#### **II.5.4.5 Brouillard mixte (mélange) :**

Avec du brouillard mixte, il y a simultanément un refroidissement et une augmentation de l'humidité de l'air. Ceci se produit dans un turbulent mélange d'air chaud, humide et froid. Lorsque deux masses d'air fortement humides mais non saturées et de température nettement différentes sont mélangées par un brassage important, il en résulte une nouvelle température telle que le nouvel rapport de mélange de saturation  $r_w$  peut être inférieur au nouvel rapport de mélange  $r$ . D'où excès de vapeur d'eau qui peut donner naissance à un brouillard de « mélange ».



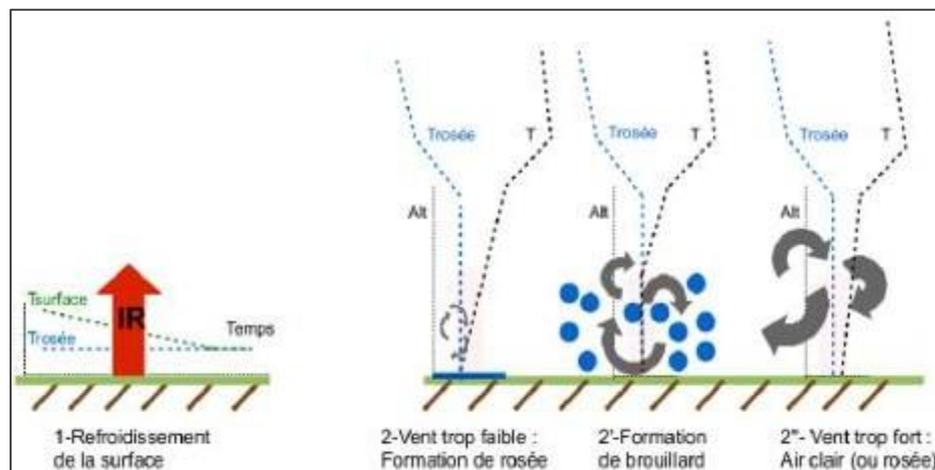
**Figure II.11 :** Brouillard mixte (mélange)

**II.5.4.6 Autres types de brouillard :**

Le brouillard par affaissement de stratus : Il s'agit de brouillard se formant par abaissement progressif de la base d'une couche de stratus.

Le brouillard de précipitation : Un brouillard est dû aux précipitations, si un type de précipitations est observé au moment de l'occurrence du brouillard ou au cours de l'heure précédant sa formation. Ceci est basé sur l'hypothèse que l'humidification et le refroidissement des basses couches de l'atmosphère grâce à l'évaporation des précipitations peuvent mener à la formation du brouillard.

Brouillard givrant ou frimas, un cas spécifique de brouillard de rayonnement C'est un brouillard composé de gouttelettes d'eau surfondue (à l'état liquide par température négative, elles gèlent au moindre contact. Les brouillards givrants peuvent entraîner des dépôts importants sur les chaussées, barrières de sécurité, mais également sur la végétation, sur les lignes électriques, etc.

**II.5.5 Cycle de vie des brouillards de type radiatif :****II.5.5.1 Phase de formation**

**Figure II.12 : Formation du brouillard**

La première phase, dite de formation, correspond à un refroidissement radiatif du sol, lorsque la surface rayonne plus de chaleur qu'elle n'en reçoit de l'atmosphère, ce qui provoque une inversion de température en basses couches lorsque le vent est faible. Si le point de saturation est atteint au sol, il y a formation de rosée et si le refroidissement du sol se propage aux niveaux supérieurs, il y a formation de gouttelettes d'eau par condensation. La formation du brouillard est d'une part

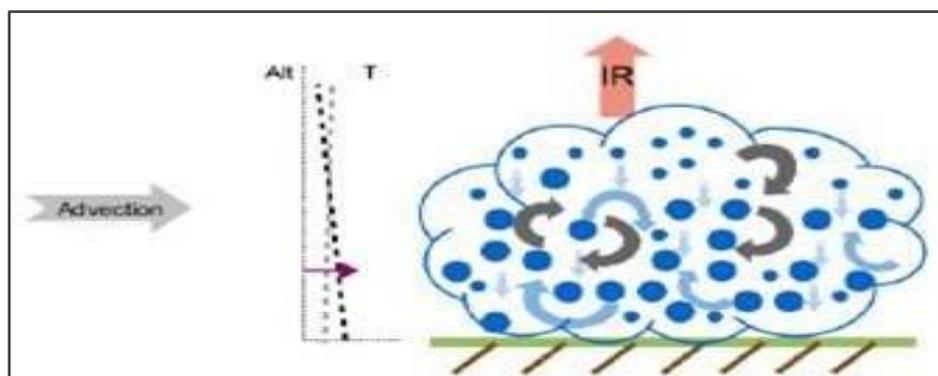
fortement liée à la capacité du sol à se refroidir et d'autre part à l'intensité de la turbulence.

La couche nocturne étant stable, la turbulence est essentiellement d'origine dynamique due au cisaillement du vent. Une faible turbulence est nécessaire pour que le refroidissement radiatif se propage verticalement. Toutefois si la turbulence est trop faible, la saturation, qui ne peut pas se diffuser sur la verticale, se traduit par un dépôt de rosée important. Au contraire, une turbulence trop forte diminue le taux de refroidissement de la surface en augmentant le mélange.

Cependant, une turbulence plus forte n'empêchant pas la formation du brouillard permet un développement plus rapide de celui-ci. Des nappes de brouillard peuvent ainsi se former pour des niveaux intermédiaires de turbulence. La fin de la période de formation correspond à une augmentation de la turbulence, associé a une turbulence tridimensionnelle dans la couche de brouillard, et bidimensionnelle a son sommet.

[09]

#### II.5.5.2 Phase mature :

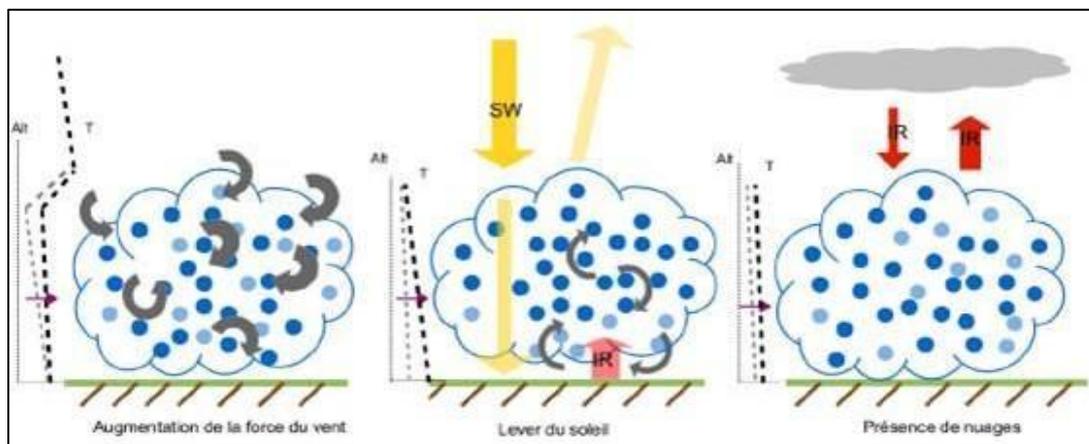


**Figure II.13 :** Phase mature du brouillard

En se développant verticalement, le brouillard atteint sa phase mature. Le sommet de la couche de brouillard devient le siège principal des processus qui pilotent l'évolution du brouillard, avec le refroidissement radiatif et l'entraînement avec l'air des couches supérieures. La couche de surface passe d'un état stable à un état neutre ou légèrement instable. Une convection froide se met en place : en effet, le sommet du brouillard se refroidit par rayonnement infrarouge et par évaporation. Une couche plus froide se forme et plonge vers le sol par gravité, entraînant un brassage de la parcelle condensée. De l'air plus sec, provenant du dessus du brouillard, peut alors être

entraîné dans le brouillard. Toutefois, à ces mouvements verticaux peuvent s'ajouter des mouvements horizontaux dus à des processus de méso-échelle, des advections d'humidité ou de chaleur pouvant modifier le développement du brouillard.

### II.5.5.3 Phase de dissipation :



**Figure II.14 :** Dissipation du brouillard.

La dissipation intervient lorsque la turbulence dépasse un seuil critique. Cela peut être dû à une augmentation du vent, qui mélange l'air saturé du brouillard avec celui plus sec situé au-dessus de la couche d'inversion, ou à un réchauffement de la surface par le rayonnement solaire.

Au lever du soleil, le rayonnement solaire influence de deux façons le cycle de vie du brouillard : Par le réchauffement de la couche de brouillard et par le réchauffement du sol. Le rayonnement solaire est en partie réfléchi par le brouillard, dont l'albédo est élevé, est en partie absorbé, ce qui provoque un lent réchauffement de la couche de brouillard, et est en partie transmis au sol. Le sol se réchauffe par l'absorption du rayonnement solaire, ce qui provoque un réchauffement progressif des plus basses couches du brouillard. Ceci rend l'atmosphère légèrement instable et augmente la turbulence, ce qui accélère l'évaporation par le bas du brouillard. L'intensité de ce réchauffement dépend du type de surface et de la turbulence (de la même façon que pour le refroidissement à la formation), mais aussi du contenu en eau du brouillard. Plus le contenu en eau est important, plus le brouillard absorbe la chaleur. La rosée ou la sédimentation peuvent retarder la dissipation du brouillard après le lever du soleil. En effet, leur évaporation due au chauffage radiatif alimente le brouillard en vapeur d'eau et maintient un refroidissement, ce qui peut maintenir sa sursaturation et retarder l'évaporation des gouttelettes. Mais la sédimentation peut également accélérer la dissipation en vidant le brouillard de son eau.

Le brouillard s'évapore par le bas, il peut ensuite s'élever en stratus ou se dissiper entièrement. La présence d'une couche nuageuse au-dessus du brouillard peut également conduire à sa dissipation en renvoyant le rayonnement infrarouge émis par le sommet du brouillard.

### **II.5.6 Outils de détection :**

Les outils de détection englobent les observations en surface et en altitude, ainsi que les sorties des modèles de prévision numérique du temps

#### **II.5.6.1 Observations météorologiques classiques :**

Sont les plus anciennes et les plus classiques parmi les méthodes de diagnostic de l'atmosphère. Elles permettent d'atteindre les paramètres physiques directs, comme la température, la pression, le vent, les précipitations. Le volume de données ainsi accessibles n'est qu'une fraction relativement réduite de l'ensemble des observations utilisées dans les modèles de prévision numérique. Les premières mesures réalisées concernaient la température de l'air, la pression atmosphérique et les précipitations. Des capteurs inventés il y a plusieurs siècles restent encore utilisés, même si certains sont maintenant en voie d'abandon, comme les baromètres à mercure, les thermomètres à mercure et à alcool, et les pluviomètres collecteurs (dans des seaux).

#### **II.5.6.2 Stations d'observation automatiques :**

Ce sont des équipements qui effectuent automatiquement des mesures météorologiques et qui transmettent également automatiquement les résultats de ces mesures. Elles ont été réalisées soit pour être utilisées à terre, soit pour être abandonnées en mer sur des bouées fixes ou dérivantes. Les stations montées sur bouées devant faire face à certaines conditions particulières d'exploitation seront l'objet d'un paragraphe spécial, mais elles remplacent de plus en plus les stations avec personnel à cause de leur moindre coût.

Développées pour les services météorologiques nationaux, elles sont maintenant utilisées également pour la recherche météorologique, pour divers utilisateurs spécialisés comme la météorologie agricole et le suivi des conditions routières, même par les météorologues amateurs.

#### **II.5.6.3 Observations à bord de navires :**

Le choix des navires se fait dans le cadre de collaborations internationales et en accord avec les compagnies maritimes. L'objectif est de réaliser des mesures prioritairement sur des zones pauvres en observations.

Les stations automatiques mesurent les paramètres atmosphériques de base (la pression, la température, l'humidité, le vent) mais également la température de l'eau en surface. Elles sont envoyées toutes les heures par satellite (Iridium et Inmarsat) au centre de Météo-France de Toulouse.

Ces mesures sont dans la mesure du possible accompagnées d'observations visuelles, effectuées par les marins, sur l'état de la mer (période et direction de la houle et des vagues induites par le vent, présence de glaces et d'icebergs) et du ciel (type et hauteur des nuages, visibilité, nébulosité). Les observations automatiques nourrissent les modèles numériques de prévision du temps. Elles sont précieuses pour le prévisionniste spécialisé en météorologie marine qui les compare aux données des modèles de prévision. Les informations sur les nuages permettent également de mieux interpréter les images satellites qui ne permettent pas de différencier un nuage bas d'un brouillard par exemple.

### **II.5.6.4 Imagerie satellitaire :**

L'imagerie satellite peut être utilisée pour aider à prévoir le brouillard potentiel formations, ou pour vérifier les zones où le brouillard persistant est répandu. Le canal de 3,9 / 10,7 micromètres est utilisé la nuit pour représenter présence de brouillard ou de stratus de bas niveau. Pendant la journée, satellite visuel l'imagerie est l'outil préféré pour représenter les zones de brouillard/nuages bas. Des estimations approximatives de la profondeur et de l'étendue du brouillard peuvent être déterminées par les différences de canaux infrarouges (IR), mais la surface et des rapports de sondage restent des indicateurs plus précis du brouillard réel profondeur. Dans les cas où les rapports de surface corrélatifs ne sont pas disponibles, L'imagerie infrarouge peut être une alternative efficace.

### **II.5.6.5 Les sorties des modèles numériques :**

La prévision numérique du temps (PNT) est une application de la météorologie et de l'informatique. Elle repose sur le choix d'équations mathématiques offrant une proche approximation du comportement de l'atmosphère réelle. Ces équations sont ensuite résolues, à l'aide d'un ordinateur, pour obtenir une simulation accélérée des états futurs de l'atmosphère. Le logiciel mettant en œuvre cette simulation est appelé un modèle de prévision numérique du temps.

Les modèles mathématiques basés sur les mêmes principes physiques peuvent être utilisés pour générer soit des prévisions météorologiques à court terme ou les prévisions climatiques à long terme ; ces derniers sont largement appliqués pour la

compréhension et la projection des changements climatiques. [10]

## **II.6 La brume :**



**Figure II.15 : la brume**

### **II.6.1 Définition :**

La brume est un amas de fines gouttelettes ou de fins cristaux de glace qui se sont formés sur des particules hygroscopiques microscopiques, lorsque l'air est devenu sursaturé par rapport à l'eau ou à la glace, et qui réduisent la visibilité en surface. C'est une des formes de l'eau météoritique.

Par convention, les météorologistes parlent de brume lorsque la visibilité horizontale est de plus d'un kilomètre et de brouillard si la visibilité est inférieure à un kilomètre<sup>1,2</sup>. Les marins utilisent souvent le terme de brume quelle que soit la visibilité horizontale et le nomment également fumée de mer quand il s'agit de brume d'évaporation.

### **II.6.2 Composition :**

La composition des brumes est théoriquement identique à celle d'un nuage dont la base toucherait le sol, c'est-à-dire qu'elle peut être enrichie en molécules émises par les végétaux, vapeurs issues du sol ou de la mer et localement par de nombreux polluants de la basse atmosphère (plus ou moins solubles dans l'eau et la vapeur d'eau selon leur tension de vapeur, mesurée par la constante de Henry).

Au-dessus des villes, la brume interfère avec les polluants et poussières. Elle peut subir des modifications photochimiques sous l'effet du rayonnement ultra-

violet solaire et de la lumière. Elle participe ainsi au smog photochimique (« brumes de pollution »). De nuit, éventuellement chargée de polluants (nano et microparticules en suspension dans l'air), la brume augmente les halos lumineux qui peuvent constituer une nuisance lumineuse (pour les astronomes et riverains des zones éclairées) et participer au phénomène dit de pollution lumineuse.

### **II.6.3 Formation :**

Les brumes marines ou terrestres sont des phénomènes physiques et météorologiques liés à la condensation de l'eau (Cf. tension de vapeur), mais qui sont en partie rétrocontrôlés par le vivant, via l'évapotranspiration des forêts et l'émission par certains organismes terrestres ou par des organismes marins (phytoplancton) morts qui donnent des molécules capables de nucléer la vapeur d'eau en microgouttelettes. Certaines activités humaines polluantes contribuent aussi à la formation de brumes artificielles qu'on appellera plutôt smogs.

Le processus de formation de la brume est identique à celui des nuages et du brouillard. Il résulte du refroidissement d'un volume d'air jusqu'à la condensation d'une partie de sa vapeur d'eau ou par ajout de vapeur d'eau pour atteindre la saturation. La condensation de la vapeur d'eau, en eau liquide ou en glace, se produit initialement autour de certains types de micro-particules de matière solide (aérosols), qu'on appelle des noyaux de condensation ou de congélation. La différence entre la brume et le brouillard est essentiellement la densité dans l'air des gouttelettes produites et leurs tailles. Dans la brume les gouttelettes sont plus petites et leurs tailles moindres ce qui réduit moins fortement la visibilité.

La congélation spontanée de l'eau liquide, dans une atmosphère très pure, ne se produit pas au-dessus de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Entre  $0$  et  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , les gouttes d'eau restent dans un état métastable (surfusion), qui cesse dès qu'elles entrent en contact avec un noyau de condensation (poussière, cristal de glace, obstacle). Lorsque ce phénomène se produit au sol, on assiste à des brumes givrantes.

### **II.6.4 Type :**

Le refroidissement qui mène à la condensation peut résulter d'une perte de chaleur comme la chute du mercure la nuit ou par le passage d'une masse d'air humide au-dessus d'une surface froide. D'autre part, l'enrichissement en vapeur d'eau va se produire dans les précipitations, près des plans d'eau ou de la végétation. On note donc différents types de brume :

**II.6.4.1 Brume radiative** : (ou « brume de chaleur ») qui se produit lorsque le ciel est dégagé la nuit et les vents faibles, la température près du sol diminue plus rapidement qu'en altitude. Elle annonce en été une belle journée ;

**II.6.4.2 Brume d'advection** : lorsque de l'air ayant une certaine température et humidité relative passe au-dessus d'une zone ayant une température inférieure, la masse d'air refroidit et la vapeur d'eau condense en brouillard. C'est le plus souvent celle que les marins subissent ;

**II.6.4.3 Brume de précipitations.**

**II.6.4.4 Brume d'évaporation.**

**II.6.4.5 Brume de mer arctique**, souvent givrante.

**II.6.4.6 Brume orographique.**

**II.6.4.7 Brume d'inversion.**

**II.6.4.8 Brume de vallée.[09]**

### **Conclusion :**

A la fin de cette partie , nous avons pris connaissance des conditions météorologiques qui réduisent la visibilité et leurs types, formation dissipation et c'était comme une plate forme de données pour bien comprendre le thème de ce travail.

# Chapitre III :

## **PNT la prévision numérique du temps**

**Introduction :**

Dans ce chapitre nous allons parler sur la PNT, ses différentes fonctions et ses étapes, ainsi que la qualité des prévisions. Nous citerons, également, les modèles utilisés pour la prévision météorologique. Enfin, nous expliciterons les différentes méthodes utilisées pour la paramétrisation de la visibilité réduite par le brouillard.

De nombreux paramètres sont pris en compte dans les modèles : variables d'état de l'atmosphère et au niveau du sol (températures, humidité, vent, etc.) ; processus physiques au niveau de l'atmosphère et du sol ou encore l'interaction entre le sol et l'atmosphère (et inversement). Grâce à toutes ces données, les supercalculateurs sont en mesure de créer des cartes de modélisations numériques.

**III.1 Définition de la PNT :**

La prévision numérique du temps est une application de la météorologie et de l'informatique qui exécutent des calculs afin de prévoir l'état futur de chaque grandeur atmosphérique par petits pas de temps finis en se basant sur une estimation de son état présent, en reposant sur des équations mathématiques offrant une approximation plus proche en utilisant un modèle numérique de prévision du temps.

Un modèle de prévision numérique du temps (PNT) est constitué d'un ensemble des lois d'évolution de l'atmosphère (plus ou moins simplifiées) discrétisées sur la grille de calcul.

En pratique, un modèle de PNT est composé de deux parties :

La dynamique qui décrit l'évolution du fluide atmosphérique dans les conditions adiabatiques à l'échelle de la grille de discrétisation choisie (partie résolue).

La physique qui décrit l'ensemble des processus non explicitement résolus à l'échelle de la grille de discrétisation (partie non-résolue) mais qui ont une influence significative sur les échelles résolues par les équations de la partie dynamique et qui sont associés à des processus diabatiques. On parle alors de paramétrisations physiques. Elles représentent principalement les échanges de chaleur dans l'atmosphère et avec la surface, les transports induits par la turbulence, ainsi que les changements de phase de l'eau. Chaque pays du monde dispose d'un Service Météorologique National (SMN), ayant pour mission de réaliser des observations régulières de l'atmosphère et d'élaborer des prévisions pour le gouvernement, l'industrie et le public. Mais seuls les pays les plus avancés disposent de centres de

Prévision Numérique du Temps (PNT), dont les produits sont également distribués aux autres pays, en échange de leurs observations, dans le cadre de l'Organisation Météorologique Mondiale. [11]

### **III.2 Les différentes fonctions des centres de PNT :**

La première fonction importante est la réception des observations

La deuxième fonction est l'examen critique des observations pour détecter les éventuelles observations fausses (si un système de mesure est défaillant), redondantes, ou biaisées.

La troisième fonction consiste à produire, à partir de l'ensemble varié et hétérogène des observations récentes, un « état » de l'atmosphère sous forme de champs mathématiques qui pourront servir à démarrer le modèle de prévision.

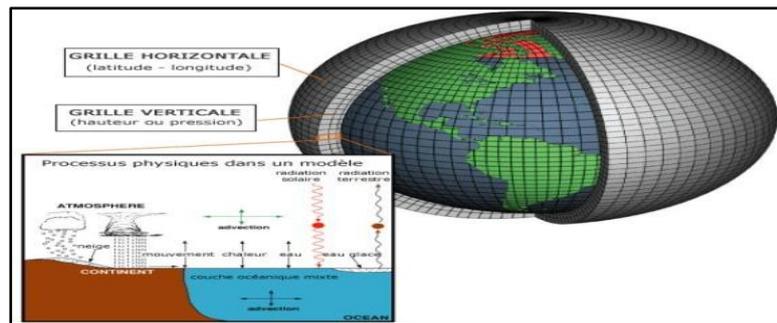
La quatrième fonction est la prévision proprement dite, qui est réalisée par un modèle numérique de l'atmosphère

La dernière fonction importante d'un centre de PNT est la vérification a posteriori des prévisions.

### **III.3 La grille du modèle numérique :**

L'atmosphère est composée d'une infinité de points et le temps se découpe en une infinité de périodes. On découpe ainsi l'atmosphère de façon à obtenir un nombre fini de morceaux et un nombre fini d'échéances : c'est la numérisation. Cette discrétisation crée un réseau constitué de points situés à l'intersection de méridiens et de parallèles et ce, à différentes altitudes. Ce réseau de points, également appelé grille définit alors la maille du modèle comme la distance horizontale séparant deux points deux à deux opposés.

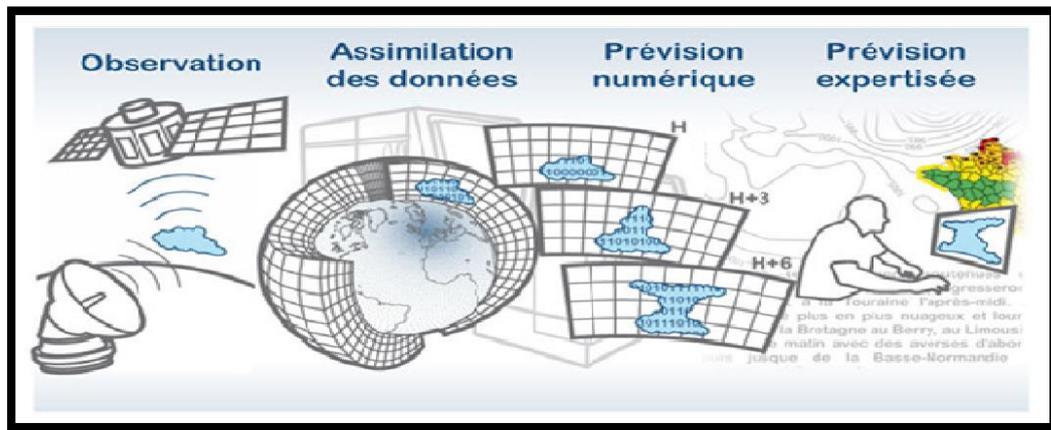
De plus, le modèle est également caractérisé par le nombre de niveaux verticaux définissant ainsi la stratification atmosphérique et par le pas de temps qui sépare deux échéances de calcul. Le modèle calcule alors l'évolution d'un certain nombre de paramètres physiques au sein d'une portion d'atmosphère au cours d'échéances successives.



**Figure III.01 :** Vue de la Terre découpée en une multitude de petites zones notons ici la grille horizontale et la grille verticale.

### III.4 les étapes d'une prévision :

Une prévision météorologique est élaborée en quatre étapes fondamentales : l'observation, l'assimilation des données observées pour obtenir une représentation du temps qu'il fait, la simulation de l'évolution de l'atmosphère au moyen de modèles numériques et l'analyse des résultats par les prévisionnistes.



**Figure III.02 :** les étapes d'une prévision météorologique.

Recueillir les observations et assimiler les données

Prévoir le temps qu'il fera demain, il faut déjà connaître le temps qu'il fait aujourd'hui. Plus on veut aller loin dans le temps, plus la zone sur laquelle il faut caractériser le temps qu'il fait doit être étendue. L'observation constitue ainsi la première étape d'une prévision. les données d'observation utilisées par les modèles de prévision proviennent des satellites météorologiques et fournis par des stations au sol, des radiosondages, des capteurs embarqués sur des avions de ligne et des navires de commerce ou installés sur des bouées ancrées et dérivantes.

Toutes ces observations sont ensuite traitées pour en extraire les informations "utiles" au modèle de prévision : on parle d'assimilation des données. Environ 22 millions de données d'observations sont utilisées chaque jour par les modèles à l'issue de l'étape d'assimilation. Les données issues des observations sont combinées à d'autres informations, comme des prévisions très récentes, pour établir un état initial de l'atmosphère que le modèle saura utiliser. Les observations sont également utilisées par les prévisionnistes, d'une part pour le suivi de la situation en cours, d'autre part pour la détection et la correction d'éventuelles erreurs de prévision.

### **Simuler le comportement de l'atmosphère en trois dimensions**

A partir de cet état initial, les modèles simulent l'évolution de l'atmosphère, qu'ils découpent en une grille en trois dimensions aux mailles plus ou moins larges. La simulation s'appuie sur les lois physiques qui gouvernent l'évolution atmosphérique : principalement les lois de la mécanique des fluides, complétées par celles qui régissent les changements d'état de l'eau (condensation, évaporation, formation des précipitations), la turbulence, le rayonnement ou encore les nombreuses interactions avec la surface terrestre et même l'espace.

De l'observation à la prévision expertisée, en passant par l'assimilation des données et la modélisation : pour affiner les prévisions, les améliorations portent sur l'ensemble de la chaîne.

Pour décrire l'état de l'atmosphère et effectuer leurs calculs, les modèles numériques de prévision du temps et du climat découpent l'atmosphère en boîtes élémentaires contenant chacune une valeur de pression, de vent, de température, d'humidité... Sur l'horizontale, ce découpage est défini par la distance de maille de la grille du modèle, et sur la verticale, par le nombre de niveaux du modèle. Distance de maille et nombre de niveaux varient selon la finesse souhaitée, la puissance de calcul disponible, la vocation du modèle (prévision à courte échéance, simulation climatique, prévision saisonnière...). Pour les phénomènes dépassant la taille de leur maille, les modèles suivent ces lois physiques en toute rigueur. En revanche, les phénomènes plus petits ne sont pas "décrits" explicitement dans le modèle. Ils sont pris en compte par le biais d'algorithmes spécifiques qui simulent leur influence moyenne à l'intérieur des mailles du modèle.

Pour effectuer les milliards de calculs nécessaires à la résolution des équations mathématiques simplifiées qui traduisent l'évolution de l'atmosphère, on utilise des supercalculateurs.

**L'analyse des simulations par les prévisionnistes**

Les résultats des simulations effectuées par les modèles ne sont pas encore des prévisions météorologiques. Il s'agit de scénarios d'évolution des principaux paramètres météorologiques en tous les points de la grille qui représente l'atmosphère. L'expertise des prévisionnistes est indispensable pour analyser ces résultats complexes et les traduire en informations concrètes. Ils choisissent parmi les différents scénarios celui qui apparaît comme le plus probable et le déclinent en « produits de prévision » adaptés aux utilisateurs, à savoir des cartes et des bulletins de prévision. Les prévisionnistes caractérisent aussi les risques de phénomènes dangereux et prennent les décisions relatives à la vigilance. De plus, ils assurent un contact direct avec certaines catégories d'utilisateurs, comme les services en charge de la sécurité civile. [12]

**III.5 Les qualités des prévisions :**

La qualité des prévisions numériques du temps est variable suivant le paramètre considéré et selon l'échéance. Aux échéances courtes la température est en général prévue avec une erreur ne dépassant pas quelques degrés, et le vent avec une erreur ne dépassant pas quelques mètres par secondes, sauf dans les zones orageuses. Pour les précipitations, notamment orageuses, on n'en est pas à ce niveau de qualité, car des petites erreurs sur les quantités précédentes se traduisent par des erreurs plus importantes sur les précipitations.

Prévoir avec précision la quantité de neige en hiver reste difficile, surtout quand la température est proche de 0°C au sol, et qu'une petite erreur de température peut entraîner une erreur sur la nature des précipitations (pluie ou neige). C'est également le cas du brouillard, qui reste très difficile à prévoir, même quelques heures à l'avance, car sa formation dépend de l'humidité qui est très variable.

**III.6 Prévisions du brouillard a l'aide des modèles de PMN :**

PM : La prévision météorologique est une application des connaissances en météorologie et des techniques modernes de prises de données et d'informatique pour prévoir l'état de l'atmosphère à un temps ultérieur.

Concepts fondamentaux

L'orientation donnée par les modèles de prévision météorologique numérique (PMN) constitue l'un des outils les plus importants pour la prévision météorologique

opérationnelle. Ces modèles sont essentiellement des programmes informatiques qui exécutent des calculs afin de prévoir l'état futur de l'atmosphère en se basant sur une estimation de son état présent. Plusieurs fois par jour, les données provenant de diverses mesures :

- des mesures au sol aux mesures par satellite, in situ à distance.
- sont recueillies et intégrées pour produire des estimations de l'état réel de l'atmosphère à un moment donné, sous forme d'analyse maillée. Une analyse sert de condition initiale (données d'entrée) pour le modèle PMN. À l'aide de méthodes numériques de résolution des équations décrivant les mouvements de l'atmosphère, les modèles prévoient l'état futur de chaque grandeur atmosphérique par petits pas de temps finis (minutes à dizaines de minutes), de façon répétitive, jusqu'à l'obtention de la solution à l'heure finale de la prévision.

### **III.7 Les étapes d'une prévision météorologique :**

- Acquisition des données.

Les données sont acquises par un ensemble de systèmes qui donnent la pression, la température, l'humidité, la direction et vitesse du vent, les précipitations, les conditions nuageuses, etc., à la surface et en altitude. Ces systèmes ont chacun leur fréquence de prise de donnée.

- Les observations horaires, spéciales et aux six heures :

Les stations météorologiques de surface, comme les observations d'aéroports (humaine ou automatique) sous forme de METAR.

- Les stations automatiques hors aéroports.
- Les bouées fixes ou dérivantes et les rapports de navires.
- Les observations aux 12 heures :
- Les stations de lâcher de ballon-sonde qui donnent des observations sur la structure verticale de l'atmosphère.
- Les données de stations de surface climatologiques.
- Les données de télédétection : Les radars météorologiques ; Les satellites météorologiques.
- Analyse du prévisionniste (météorologue qui prévoit opérationnellement par contraste avec celui qui est en recherche).
- Analyse des données.

- Application de techniques expérimentales pour estimer le déplacement et le comportement des systèmes indépendamment des modèles numériques.

**EXPLICATION :**

Il analyse l'ensemble des données de surface et d'altitude à partir de cartes météorologiques tracées par ordinateur sur une station de travail, comme SYNERGIE de Météo-France et AWIPS du Station de travail AWIPS où sont affichés différents champs météorologiques National Weather Service, ou manuellement pour se faire une idée de la circulation atmosphérique actuelle, de la trajectoire passée des systèmes et de leur état de développement. Grâce à des techniques héritées de l'école norvégienne de météorologie, il analyse les fronts, les creux de surface et d'altitude, les advections du mouvement vertical, etc. pour déterminer la trajectoire future de ces systèmes.

Ces techniques ont fait leur preuve, pour des périodes allant jusqu'à 48 heures et même plus pour certaines d'entre elles. Il obtient ainsi une idée qualitative de ce qui va se passer.

Prévision numérique (Modèle)

### **III.8 Les principaux modèles utilisés à l'ONM :**

#### **III.8.1 ALADIN**

Le modèle numérique ALADIN (Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational) est un modèle bi-spectral à aire limitée. C'est en fait la version à aire limitée du modèle global ARPEGE. Historiquement, il a été développé depuis le début des années 90 au sein d'un large consortium regroupant de nombreux centres météorologiques en Europe et en Afrique du nord.

La version opérationnelle ALADIN-Algérie couvre toute l'Algérie. Elle a une résolution horizontale de 8 km x 8 km et une résolution verticale de 70 niveaux. Le premier niveau est situé à 17 mètres et le dernier niveau à 65 kilomètres.

ALADIN-Algérie est utilisé en opérationnel à l'ONM depuis novembre 2006. Depuis Janvier 2014 ce modèle tourne sur la machine IBM de l'ONM.

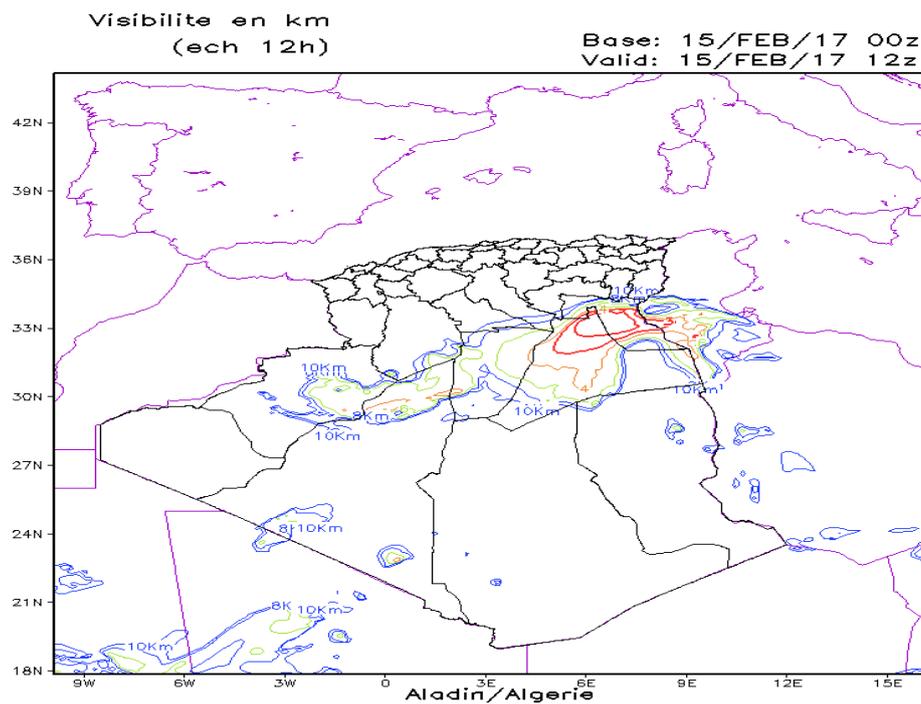


Figure III.03 : Domaine Aladin

**III.8.2 ALADIN DUST**

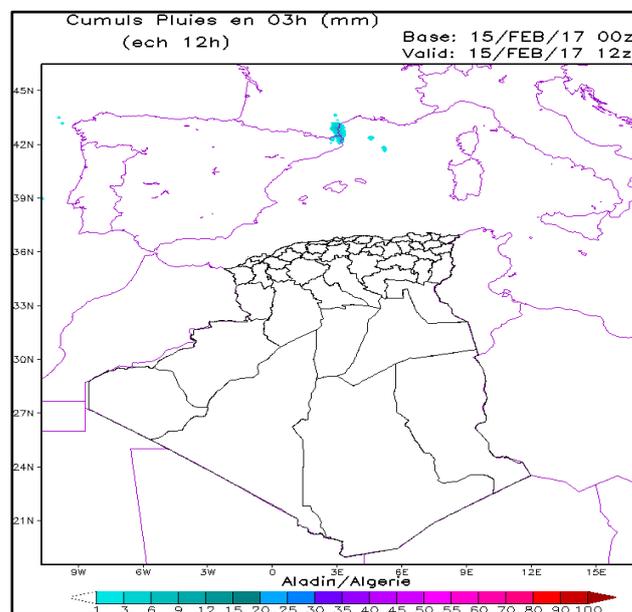


Figure III.04 : Domaine Aladin dust

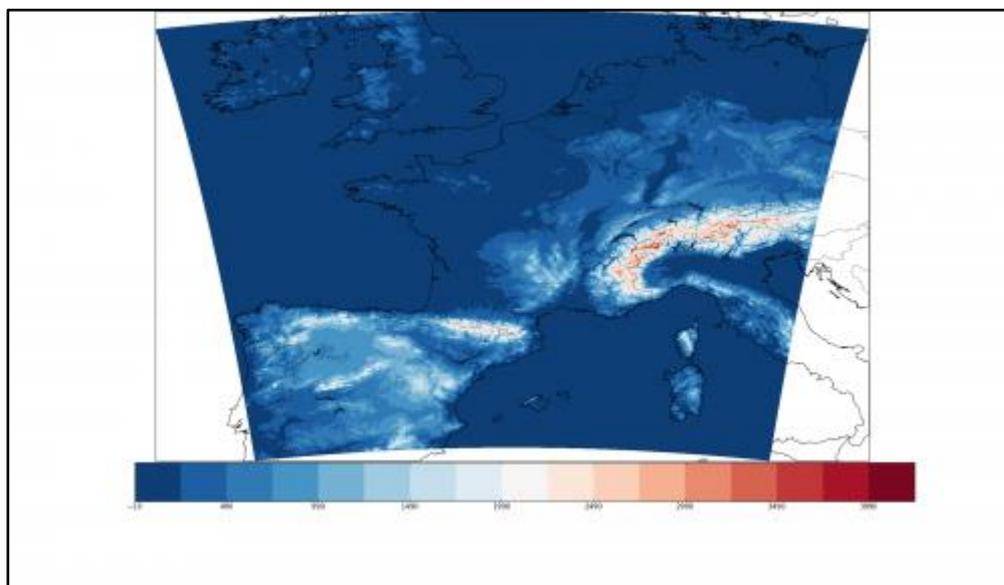
Est une version d'ALADIN qui permet la prévision du cycle atmosphérique des poussières désertiques. ALADIN\_DUST est un couplage entre le modèle

atmosphérique ALADIN et le schéma de surface SURFEX (SURFace EXternalisée). Cette version est le fruit de coopération entre l'Office National de Météorologie et Météo France. Depuis l'acquisition de l'ONM d'un supercalculateur, cette version est devenue opérationnelle à l'ONM.

La version ALADIN\_DUST couvre toute l'Algérie. Elle a une résolution horizontale de 14 km x 14 km et une résolution verticale de 70 niveaux. Le premier niveau est situé à 17 mètres et le dernier niveau à 65 kilomètres.

ALADIN\_DUST permet la prévision des concentrations de poussière désertique, les visibilités horizontales, les flux d'émission de poussière et les épaisseurs optiques. Ces paramètres sont essentiels pour les prévisions d'aérodrome (TAF Terminal Aerodrome forecast) notamment sur les régions Sahariennes.

### **III.8.3 AROME**



**Figure III.05 :domaine AROME**

Le modèle AROME (Application of Research to Operations at MEsocale), est le modèle qui est utilisé par l'ONM pour la modélisation à échelle fine. Il est opérationnel depuis Mars 2014.

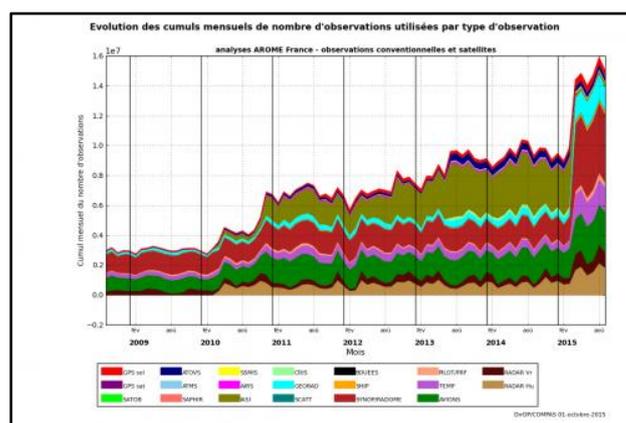
AROME a été conçu pour améliorer la prévision à courte échéance des phénomènes dangereux tels que les fortes pluies, les orages violents, le brouillard...).

La version AROME couvre la partie nord de l'Algérie. Elle a une résolution horizontale de 3 km x 3 km et une résolution verticale de 41 niveaux. Le premier niveau est situé à 17 mètres et le dernier niveau à 45 kilomètres.

Il a été développé grâce à d'étroites collaborations, nationales et internationales, afin de tenir compte des dernières avancées en modélisation atmosphérique. En effet, les paramétrisations physiques du modèle sont en majeure partie héritées du modèle de recherche Més0-NH alors que la partie dynamique est une adaptation pour la fine échelle du noyau dynamique d'ALADIN.

La maille de calcul du modèle, nettement plus fine que celle de ses prédécesseurs, est de 1,3 km (contre 7,5 km pour ARPEGE sur la France).

L'initialisation du modèle est réalisée par un système d'assimilation de données dérivé du système d'assimilation variationnelle d'ARPEGE-IFS et adapté à la résolution du modèle : en plus des données disponibles pour ARPEGE, AROME est alimenté en données fines, issues par exemple du réseau radar ARAMIS (précipitations et vents Doppler), assimilées avec une fréquence horaire.



**Figure III.06 Evolution des cumuls mensuels du nombre d'observations par type d'observations dans Arome**

### III.8.3.1 Usage opérationnel :

AROME produit cinq prévisions par jour sur la France métropolitaine et aide ainsi à mieux y prévoir les phénomènes météorologiques de la journée et du lendemain (ses échéances de prévisions allant jusqu'à 42h). Il est très utile dans les épisodes à forts enjeux tels que les épisodes convectifs intenses. Son apport a aussi été démontré en hiver dans des situations neigeuses ainsi que dans des cas de tempêtes comme Xynthia qui a fait des ravages dans les Pyrénées et sur le littoral Atlantique en Février 2010. Il a aussi été très apprécié lors de la campagne internationale HYMEX sur la méditerranée en 2012 (voir AROME-WMED).

### **III.8.3.2 Evolutions :**

Dès sa première version, AROME a démontré son apport par rapport aux prévisions de son modèle coupleur (modèle qui lui fournit les informations météorologiques sur les bords de son domaine) qui à l'époque était ALADIN (une version d'ARPEGE sur un domaine limité à l'Europe).

Au printemps 2010, la seconde version d'AROME a vu sa résolution verticale augmenter pour devenir meilleure que celle d'ALADIN dans les niveaux les plus bas (moins de 3000m au-dessus du sol). De nouvelles données ont aussi été ajoutées dans l'initialisation du modèle, notamment les précipitations détectées par le réseau radar ARAMIS. A partir de cette deuxième version, l'augmentation de résolution horizontale d'ARPEGE sur l'Europe a permis de coupler directement AROME à ARPEGE.

L'accroissement de nos moyens de calcul intervenu début 2010 a permis la mise en service d'une troisième version d'AROME à l'automne 2010, avec une augmentation de 76% de l'emprise horizontale du domaine géographique, ainsi qu'une initialisation des champs de surface indépendante de celle d'ARPEGE. Diverses améliorations ont été apportées au niveau de la prévision des nuages bas et de la grêle en septembre 2011, et de nouvelles données notamment satellites ont été ajoutées à l'initialisation du système en septembre 2012.

Une nouvelle augmentation de nos moyens de calcul a permis en avril 2015 de réaliser un nouveau saut en résolution du modèle atteignant maintenant 1,3km sur l'horizontale et 90 niveaux verticaux.

Une version d'AROME dédiée à la prévision immédiate (quelques heures d'échéance) est pré-opérationnelle. De plus, une prévision d'ensemble AROME (permettant d'estimer l'incertitude d'une prévision, ou de fournir une probabilité de dépassement de seuils à risque) viendra compléter la version dite déterministe d'AROME en 2016.

Des versions AROME pour les territoires et départements outre mer sont aussi en cours de déploiement opérationnel.

AROME bénéficie, via les conditions à la limite qui lui sont fournies, des améliorations régulières effectuées dans son modèle coupleur ARPEGE. Des

modifications spécifiques à AROME sont aussi apportées pour résoudre des faiblesses du modèle, identifiées par des utilisateurs ou par des calculs de scores objectifs.

### **III.8.3.3 A l'international**

En Europe, une quinzaine de pays partenaires utilisent eux aussi AROME comme modèle opérationnel à échelle fine tandis que d'autres pays s'y préparent. En parallèle, le modèle est de plus en plus utilisé en mode recherche.

### **III.8.3.4 A plus long terme :**

L'utilisation du modèle pour la prévision d'ensemble (permettant d'estimer l'incertitude d'une prévision, ou de fournir une probabilité de dépassement de seuils à risque), mais aussi pour la recherche va continuer de se développer.

Des expérimentations plus fines à l'échelle d'une ville, d'un massif alpin, ou d'un aéroport sont aussi menées à des résolutions hectométriques (typiquement 500m).

Des améliorations dans les paramétrisations physiques du modèle, dans son schéma dynamique, et dans son système d'initialisation, sont introduites dans les nouvelles versions pour améliorer la qualité des prévision

# **Chapitre IV**

## **La validation**

## **Introduction :**

le travail de ce mémoire de fin d'étude sera représenté dans le chapitre quatre comme une partie pratique, le problème qu'on a essayé de résoudre est la précision de la prévision numérique du brouillard, brume qui sont les paramètres qui affectent sur la visibilité (l'objet le plus important pour la sécurité aérienne). la prévision numérique en Algérie se fait par l'ONM l'office national de la météorologie avec plusieurs model numérique ALADIN , ALADIN DUST , AROME ... on a utilisé le model AROME Application of Research to Operations at MEscale , est le modèle qui est utilisé par l'ONM pour la modélisation à échelle fine c'est pour sa qu'on a l'utilisé par ce que c'est une nouvelle application on peut pas l'appliqué a une grande partie il faut premièrement le tester au niveau d'un petit espace ( on a choisi l'aérodrome d'Alger HOUARI BOUMEDIEN) .les modèles de prévision numérique se fonctionnent avec un système de grille Comme mentionné précédemment dans le chapitre 03 et la grille est la chose qui control la résolution du model a cause de la distance entre les points de grille plus quelle est courte, plus la résolution diminue et plus la prévision devenus plus précise et c'est sa le but de ce PFE . le travail est un peut comme un mise a jour pour le model par ce que le model est déjà utilisable a une résolution horizontale de 3 km x 3 km et une résolution verticale de 41 niveaux. Le premier niveau est situé à 17 mètres et le dernier niveau à 45 kilomètres, alors qu'on a essayé de diminuer la résolution horizontale a 1.3 km x 1.3 km et une résolution à 90 niveaux verticaux, et a la fin on va valider la nouvelle application par une comparaison entre l'ancien domaine et le nouveau avec une table de contingence.

**IV.1 Approche scientifique de la Routine de visibilité :**

Cette nouvelle routine calcule trois nouveaux paramètres (PVISICLD, PVISIHVD, PMXCLWC), respectivement, la visibilité liée des nuages bas (brouillard et brume), la visibilité liée à trois types d'hydrométéores en chute (pluie, neige, neige roulée) et le contenu en eau liquide nuageuse, les résultats seront donnés en mètres et plafonnés à 20000m.

Le calcul de la visibilité par cette routine est basé sur la formule de Koschmieder qui relie la visibilité horizontale aux coefficients d'extinction des différents hydrométéores, à savoir : l'eau liquide, la glace, la neige, la pluie et la neige roulée.

$$PVISICLD = \frac{-\ln(0,05)}{0,013 + \beta_{cld} + \beta_{ice}} \quad (1)$$

- PVISICLD: Visibilité liée aux nuages bas en mètres.
- $\beta_{cld}$  : Coefficient d'extinction due à l'eau liquide nuageuse.
- $\beta_{ice}$  : Coefficient d'extinction due à la glace nuageuse.

$$PVISIHVD = \frac{-\ln(0,05)}{0,013 + \beta_{rain} + \beta_{snow} + \beta_{graupe}} \quad (2)$$

- PVISIHVD : Visibilité liée au hydrométéores en mètres .
- $\beta_{rain}$  : Coefficient d'extinction due aux précipitations.
- $\beta_{snow}$  : Coefficient d'extinction due à la neige.
- $\beta_{graupe}$  : Coefficient d'extinction due à la neige roulée.

Les coefficients d'extinctions  $\beta$  des deux formules ( 1 ) et ( 2 ) sont de la forme :

$$\beta = a \cdot C^b$$

**C** : Contenu des hydrométéores (eau - glace - pluie - neige - neige roulée).

**a , b** : Des coefficients à déterminer empiriquement .

Ce schéma calcule la visibilité à des hauteurs prédéfini dans les namelist. Par défaut, le modèle va calculer les visibilités à chaque pas de temps. Ensuite, un minimum horaire sera calculé pour une hauteur de 5m. Toutefois, deux durées peuvent être demandées simultanément dans la même exécution.

Tout cela peut être adapté à l'aide de la namelist de la prévision (e001).

## **IV.2 les étapes de création de la configuration :**

Avant d'arriver à l'exploitation des sorties du modèle AROME, il s'est avéré utile de faire le tour sur l'essentiel des utilitaires et langages de programmation utilisés dans le domaine de la PNT.

### **Le langage de programmation SHELL (Bash):**

Le Shell est l'un des premiers langages de programmation, le Shell est le langage qui gère l'invite de commandes. Dans la PNT, Le modèle de prévision numérique du temps est lancé dans un environnement « UNIX », pour cela une maîtrise de la base de ce langage nous permettra en quelque sorte de réduire le temps de travail et d'aller beaucoup plus rapide dans l'exécution. Ci-dessous le résumé des commandes de base apprises durant ce stage :

### **Le programme Fortran :**

Fortran est un langage de programmation souvent utilisé par la communauté scientifique. Son nom est une abréviation de **TRAN**slation **FOR**mula. FORTRAN est aussi l'un des premiers langages de programmation et a été conçu spécifiquement pour résoudre des problèmes de calcul scientifiques et techniques. Dans le monde de la PNT les modèles de la prévision numérique du temps sont des scripts en langage FORTRAN. Un aperçu bref a été revu dans ce stage.

### **GrADS:**

Le Grid Analysis and Display System (GrADS) est un outil de bureau interactif utilisé pour faciliter l'accès, la manipulation et la visualisation des données des sciences de la Terre. Le format des données peut être binaire, GRIB, NetCDF ou HDF-SDS (Scientific Data Sets). GrADS a été implémenté dans le monde entier sur une variété de systèmes d'exploitation couramment utilisés et est distribué gratuitement sur Internet.

Parmi tous les programmes de visualisation de données, on a choisi le GrADS pour notre stage, d'abord c'est un outil très facile à manipuler ayant toutefois toutes les fonctionnalités nécessaires afin d'atteindre l'objectif tracé pour ce stage.

Après présentation des programmes et outil nécessaires pour assurer une bonne compréhension et un bon suivi de ce stage. Notre partie pratique s’est concentré sur quatre grandes parties :

- 1) Préparation de la nouvelle configuration AROME 1,3km.
- 2) Lancement de la nouvelle configuration.
- 3) Exploitation des Sorties du Modèle (FULLPOSS).
- 4) Discussions des résultats.

#### **IV.2.1 Création de la nouvelle configuration AROME 1,3km :**

Le brouillard et la brume sont à la fois des phénomènes locaux et à très courte durée. Pour le suivi des différentes phases de ces phénomènes (apparition - dissipation), on a choisi une configuration AROME avec une résolution horizontal de 1.3km et 90 niveaux verticaux, cela afin d’en tirer le meilleur profit et de profiter de la fiabilité et des performances du modèle AROME à la prévision des phénomènes sous maille.

Le tableau (Tableau 1) ci-dessous résume les caractéristiques de la nouvelle configuration AROME 1,3km ; 90 niveaux verticaux.

<b>caractéristiques</b>	<b>AROME</b>
Cycle	CY46T1.bf.06
Modèle coupleur	ARPÈGE
Fréquence de couplage	1H
Résolution horizontale (selon x et y)	1300 mètres (1.3 Km)
Niveaux verticaux	90
Premier Niveau du modèle	5 mètres
Pas de temps	40 secondes
Grille	232 x 232

Domaine	Centre	3,2° E – 36,5° N
	Latitude	35° N – 38° N
	Longitude	1,7° E – 4,7° E

**Tableau IV.01** : tableau résume les caractéristiques de la nouvelle configuration AROME 1,3km ; 90 niveaux verticaux

La configuration AROME 1.3km a été centrée sur l’aéroport d’Alger, voici la position géographique de cette dernière par rapport au nord de l’Algérie ( Figure IV.01 ).



**Figure IV.01:** Configuration AROME 1,3km

Pour créer cette configuration, on a utilisé 3 utilitaires , lancé sur le supercalculateur de Météo-France ( belenos ) :

**makdo** : utilitaire pour générer les 4 limites du domaine ( lon<sub>min</sub> – lon<sub>max</sub> – lat<sub>min</sub> – lat<sub>max</sub> ), le nombre de points , et les différents coefficients qui seront utilisés ultérieurement.

**Climake et postpromake** : utilitaires pour générer les fichiers climatiques de cette configuration.

Les résultats des ces différentes procédures sont 24 constantes contenant les différentes données climatique de la région (Albédo - végétation - ....) qui seront utilisées dans le couplage et la prévision.

### **IV.2.2 Lancement du modèle :**

Après avoir créer le domaine, et générer les différentes constantes nécessaires pour faire tourner cette nouvelle configuration AROME, la prochaine étape était d'activer le paramètre de visibilité et de lancer le modèle .

le lancement d'un modèle a aire limité tel que AROME se fait en 2 parties : Couplage et prévision.

#### **IV.2.2.1 Le couplage (Configuration e927) :**

Le couplage d'un modèle à aire limité se fait par rapport a un modèle plus grand, les résultats de ce couplage serviront de données initiales et données au bords pour notre modèle à aire limité.

#### **IV.2.2.2 la prévision (configuration e001) :**

Cette étape, consiste à faire tourner notre modèle et démarrer la prévision, Avant de lancer le modèle, on a due activer le schéma de visibilité , en apportant toutes les modifications nécessaires dans la namelist qui contrôle la prévision pour avoir les diagnostics de visibilité dans les sorties du modèle.

L'image ci-dessous est un exemple d'un bloc de la namelist de la prévision (**Configuration e001**):

```

870 &NAMXFU
871 LXFU=.TRUE.,
872 LXPLS=.TRUE.,
873 LXPLSG=.TRUE.,
874 LXTTCLS=.TRUE.,
875 LXCLP=.TRUE.,
876 LXCLS=.TRUE.,
877 LXQCLS=.TRUE.,
878 LXR=.TRUE.,
879 LXNEBTT=.TRUE.,
880 LXNEBPA=.TRUE.,
881 LXXGST=.TRUE.,
882 LXXDIAGH=.TRUE.,
883 LXSOIL=.FALSE.,
884 LXTHW=.TRUE.,
885 LXTRF=.TRUE.,
886 LXVISI=.TRUE.,
887 /
888 &NAM_CANAPE
889 /
890 &NAM_DISTRIBUTED_VECTORS
891 /
892 &NAPHLC
893 /
894 &NEMCT0
895 /
896 &NEMDIM
897 /
898 &NEMDYN
899 /
900 &NEMELBC0A
901 NBICOP=2,
902 NBICOT=2,
903 NBICOU=2,
904 NBICPD=2,
905 NBICVD=2,
906 NBICNHX=2,
907 NECRPL=1,
908 LESPCPL=.TRUE.,
909 /
910 &NEMELBC0B
911 TEFACL=3600.,
912 NEK0=20,
913 NEK1=30,

```

**Figure IV.02 :** exemple de quelques blocs de la namelist e001 ( la clé LXVISI=.TRUE. active la routine qui calcule la visibilité ).

Après avoir activé le diagnostic de visibilité et lancer les modèles, les sorties seront sous deux formes (ICMSH – FULLPOSS), contenant les différents paramètres prévus, pour 24h d’échéances et un pas horaire.

Dans la suite de ce stage nous exploiterons les sorties de type FULLPOSS.

### IV.2.3 Exploitation des Sorties du Modèle (FULLPOSS):

Dans cette partie nous allons traiter toutes les étapes a compter de l’extraction des paramètres de visibilité au traçage des cartes par le l’outil GrADs.

#### IV.2.3.1 extraction des paramètres :

Pour extraire les paramètres à partir des **Fullposs**, on utilise l’utilitaire «**edf**» , cet utilitaire nécessite deux arguments, comme premier argument la **namelist** qui comporte le nom du paramètre a extraire tel qu’il est inscrit dans la **Fullposs**, le deuxième argument c’est le Fullposs. La commande sera De la forme suivant :

./edf                  namelist                  Fullposs.

Les exemples ci-dessous présentent les différentes namelist utilisées et un exemple de la commande pour extraction :

```
wchikhi@wchikhi:~/plot/edf$ ./edf namel_vis FULLPOSS_00
*****
* PROGRAM : edf
*****
NAMELIST FILE namel_vis OPENED
CADRE.STANDARD0

***** INFO *****
PAS de CHAMP VALABLE pour le FICHER : FULLPOSS_00
*****
*          PROGRAM FINISHED          *
*          WITH NO ERROR              *
*****

Remaining memory: 568 bytes allocated at line 302 of FA_CADRE_MOD.F90
Remaining memory: 568 bytes allocated at line 301 of FA_CADRE_MOD.F90
Remaining memory: 2632 bytes allocated at line 375 of FA_CADRE_MOD.F90
Remaining memory: 1960000 bytes allocated at line 247 of EGG_TOOLS_MOD.F90
Remaining memory: 1960000 bytes allocated at line 249 of EGG_TOOLS_MOD.F90
Remaining memory: 980000 bytes allocated at line 248 of EGG_TOOLS_MOD.F90
Remaining memory: 1960000 bytes allocated at line 249 of EGG_TOOLS_MOD.F90
Remaining memory: 1960000 bytes allocated at line 247 of EGG_TOOLS_MOD.F90
Remaining memory: 980000 bytes allocated at line 248 of EGG_TOOLS_MOD.F90
wchikhi@wchikhi:~/plot/edf$ □
```

**Figure IV.03** : La commande « edf »

### Namel-vis

&NAML

TABCH(1)='CLSVISIN\_60'

&END

### \*Namel vishyd

&NAML CLSVISIHVD 60

TABCH (1)='CLSVISIHVD60'

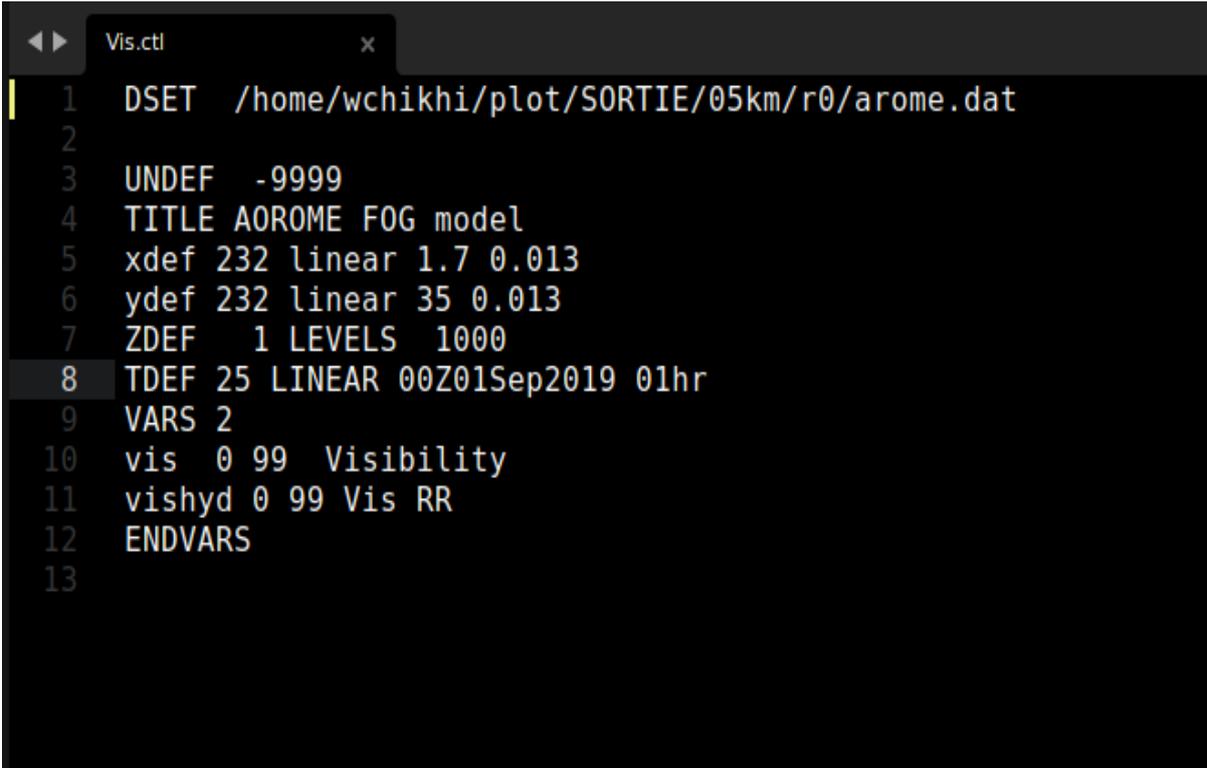
&END

**IV.2.3.2 traçage des paramètres :**

Après extraction des paramètres voulus à l'étape précédente et avant d'arriver au tracé des cartes on continue notre démarche par création d'un fichier de format « dat », abréviation du mot « data ». ce fichier est généré a l'aide d'un script FORTRAN, qui va nous permettre de rassembler tout nos paramètres et échéances en un seul fichier pour faciliter la manipulation et le tracé à l'aide de GrADS.

Enfin, Pour tracer nos paramètres de visibilité, on fait recours à des scripts de GrADS adaptés selon nos besoins et nos caractéristiques géographiques et temporelles de notre modèle AROME 1.3km.

Les images ci-dessous illustre un aperçu des deux scripts utilisés au traçage des ces cartes :



```
1 DSET /home/wchikhi/plot/SORTIE/05km/r0/arome.dat
2
3 UNDEF -9999
4 TITLE AOROME FOG model
5 xdef 232 linear 1.7 0.013
6 ydef 232 linear 35 0.013
7 ZDEF 1 LEVELS 1000
8 TDEF 25 LINEAR 00Z01Sep2019 01hr
9 VARS 2
10 vis 0 99 Visibility
11 vishyd 0 99 Vis RR
12 ENDVARS
13
```

**Figure IV.04 :** fichier descripteur du fichier .dat

```

91 'set rgb 18 145 50 0'
92 'set rgb 19 105 40 0'
93 'set mark's color 15
94
95 *-----
96 *****
97 while (it0 <= jte)
98 *-----
99 'set t 'it0
100 it=it0-1
101 *-----
102 'set grads off'
103 'set grid off'
104 'set gxout shaded'
105 'set mpdset hires'
106 'set clevs 0.05 0.1 0.5 1 1.5 2 3 5 10 '
107 '*set clevs 10 50 100 500 1000 1500 2000 3000 5000 '
108 '*set clevs 0 50 100 500 1000 1500 2000 3000 5000 10518'
109 'set ccols 72 70 14 91 8 7 3 11 4 0 '
110 'set lon 2.6 3.8'
111 'set lat 35.9 37.2'
112 'd vis/1000 '
113 'draw shp /home/wchikhi/plot/grads/shp/alg.shp'
114 'run cbarn.gs'
115 'draw string 2 10.8 ' ' Visibilite due au nuages bas (m) '
116 'draw string 1.5 10.4 ' (ech ' it'h)'
117 'draw string 5.65 10.4 ' Base: 00'
118 'draw string 4.2 0.75 ' AROME/Algerie 1.3km90NIVEAUX'
119 'draw string 5.65 10.6 ' '18-05-2018'
120 'printim /home/wchikhi/plot/gifs/13km/r0/0518/VIS_ 'it0'.png png x800 y800 white'
121
122
123 'reset'

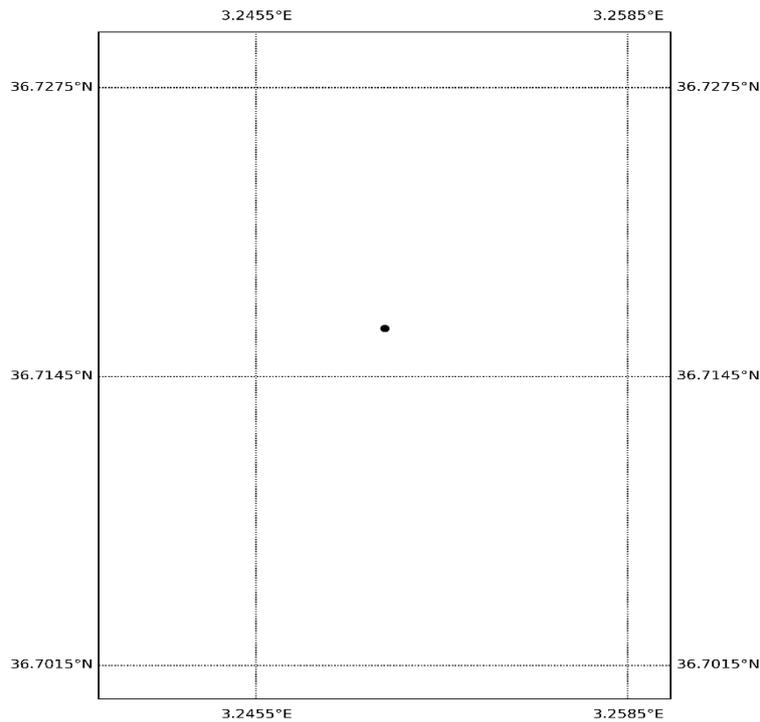
```

**Figure IV.05:** capture sur une partie du Script GrADS

### IV.2.3.3 Méthodologie et données :

Après avoir tracé nos cartes on passe maintenant à l'analyse de la fiabilité de ce nouveau schéma « acvisih » avec le modèle AROME. Pour Cela et afin de valider nos résultats on a choisis de comparer nos sorties de modèles avec les observations issues des METARs (METeorological Aerodrome Report) de l'aéroport d'Alger (DAAG). Les Metars utilisées durant ce stage ont été téléchargé du site web suivant. [13]

La visibilité du METARs est estimée sur tout le domaine qui entoure la station. Plus que les coordonnées de l'aérodrome (DAAG) ne coïncident avec aucun des points de la grille AROME 1.3km, on a choisi le minimum entre les 4 points de la grille AROME 1.3km autour de ce dernier pour assurer une meilleure comparaison. La figure ci-dessous présente les cordonnées choisies:



**Figure IV.06** : emplacement de la grille AROME 1.3km et les points choisis pour la comparaison

Les simulations ont été faites sur une période totale de 31 jours, séparés en deux saisons différentes pour mieux comprendre ce nouveau schéma. On a choisi 13 jours des mois de Mai et 17 jours du mois de Décembre de la même année 2018, avec un pas d'un jour à l'avance et un jour après des journées avec baisse de visibilité . Pour les besoins aéronautiques et météorologiques, et la complexité de la prévision de ces phénomènes, les services concernés se focalisent en premier lieu sur la prévision des phénomènes obscurcissant, sans les quantifier. Pour cela on a procédé à notre étude en classant d'abord nos visibilités en 3 groupes, ensuite créer une table de contingence entre les observations et les prévisions.

Nous avons classé nos visibilités selon les critères suivants :

- **Very Bad (Brouillard)** : Pour les visibilités inférieure ou égale à 1000m.
- **Bad (Brume)** : Pour les visibilités entre 1000m et 5000m.
- **Good** : Pour les visibilités supérieure ou égales à 5000m.

La table de contingence est de la forme suivante :

		Forecast			Sum
		1-VERY BAD	2-BAD	3- GOOD	
observation	1-VERY BAD	a	b	c	J
	2-BAD	d	e	f	K
	3-GOOD	g	h	i	L
	Sum	M	N	O	T

**Table IV.02** : format de la table de contingence

A partir de cette table de contingence, on a calculé trois (3) indices pour évaluer la qualité de notre prévision avec ce nouveau schéma, savoir :

**Pourcentage correcte (PC)** : ce score montre une fraction des prévisions qui est correcte. Il varie de 0 à 1, le score parfait étant 1. Ce score peut être trompeur car il est fortement influencé par la catégorie commune, généralement aucun événement dans le cas d'événements rares. Il est déterminé par la formule :

$$PC = \frac{(a + e + i)}{T}$$

**Probabilité de détection (POD)** : Ce score montre la fraction d'événements oui observés qui ont été correctement prévus. Le score varie de 0 à 1, le score de 1 étant le score parfait. Il est sensible aux hits mais ignore les fausses alarmes, ce qui le rend bon pour les événements rares. Le POD est déterminé par la formule suivante ci-dessous :

$$POD = \frac{(e + d + e)}{(K + j)}$$

**Fausse alarme (FAR)** : Ce score indique le pourcentage d'événements (OUI) prédits qui ne se sont pas réellement produits. Le score de compétence FAR varie de 0 à 1, le score parfait étant de 0. Le score de compétence FAR peut être déterminé en appliquant la formule ci-dessous

$$FAR = \frac{(g + h)}{(N + M)}$$

**IV.3 Résultats et discussions :**

Après avoir traité les données, attribuer les différentes classes, on procédé notre étude par analyse de toute la période choisis, après on a essayé de voir chaque période séparément , voici les résultats obtenus

		<i>Forecast</i>				
		<b>All</b>				
<b>Observation</b>		<b>1-VERY BAD</b>	<b>2-BAD</b>	<b>3- GOOD</b>	<b>Sum</b>	
	<b>1-VERY BAD</b>	17	1	21	39	
	<b>2-BAD</b>	40	14	54	108	
	<b>3-GOOD</b>	45	33	517	595	
	<b>Sum</b>	102	48	592	<b>742</b>	
			<b>Décembre</b>			
		<b>1-VERY BAD</b>	<b>2-BAD</b>	<b>3- GOOD</b>	<b>Sum</b>	
	<b>1-VERY BAD</b>	4	1	16	21	
	<b>2-BAD</b>	19	1	38	58	
	<b>3-GOOD</b>	24	16	311	351	
<b>Sum</b>	47	18	365	<b>430</b>		
		<b>Mai</b>				
	<b>1-VERY BAD</b>	<b>2-BAD</b>	<b>3- GOOD</b>	<b>Sum</b>		
<b>1-VERY BAD</b>	13	0	5	18		
<b>2-BAD</b>	21	13	16	50		
<b>3-GOOD</b>	21	17	206	244		

	<b>Sum</b>	55	30	227	<b>312</b>
--	------------	----	----	-----	------------

**Table IV.03:** table de contingence de toute la période étudiée

<i>All</i>	
<b>PC</b>	73,85
<b>POD</b>	0,48
<b>FAR</b>	0,52
<i>Décembre</i>	
<b>Pc</b>	73,49
<b>POD</b>	0,3
<b>FAR</b>	0,62
<i>Mai</i>	
<b>PC</b>	74,36
<b>POD</b>	0,69
<b>FAR</b>	0,45

**Table IV.04 :** Scores calculés pour AROME 1,3km

Les résultats obtenus montrent une bonne saisie des situations en général , le pourcentage correcte est assez élevé à atteindre 73,85 % pour toute la période. Ainsi que pour les deux mois choisis séparément a savoir 73,49 % pour le mois de décembre et 74,36% pour le mois de mai.

Les résultats des probabilités de détection sont a leurs tour assez prometteurs a voir que les résultats ont démontré que pour toute la période choisis , le score est de 0,48 .toutefois pour les deux périodes séparés on constate largement une meilleure saisie au mois de Mai qu'en mois de Décembre à savoir respectivement : 0,3 ; 0,69.

Les scores des fausses alarmes pour AROME avec ce nouveau schéma est juste acceptable , la ou les scores montrent que pour les deux périodes jumelés est de 0,52 ; tandis qu'on remarque que les fausses alarmes sont plus fréquente au mois de Décembre (0,62) qu'en mois de Mai ( 0,45) sans que les causes soit déterminé pour le moment .

**Conclusion :**

Durant ce stage réalisé au sein de la Météo-Algérie dans le but de réaliser ma partie pratique de mon mémoire de fin d'études. Nous avons évalué puis validé le nouveau schéma «acvisih» ajouté au modèle convectif AROME. Pour réaliser ce travail nous avons préparé une nouvelle configuration AROME à résolution verticale et horizontale très fine (1,3km et 90 Niveaux verticaux). Nous avons choisi un total de 31 jours divisé en 17 jours du mois Décembre et 13 jours du mois de Mai de la même année 2018. Les simulations de cette nouvelle configuration ont été comparées au Metars de l'aérodrome d'Alger (DAAG). Les scores obtenus montrent une assez bonne saisie de ce nouveau schéma des épisodes de baisse de visibilité due aux nuages bas (brume et brouillard), avec une meilleure saisie au mois de Mai qu'en mois de Décembre, sans que les raisons de cette différence ne soient expliquées jusqu'à présent.

## **Conclusion général :**

Le présent travail avait pour objectif d'évaluer puis valider la nouvelle configuration AROME avec une résolution horizontale de 1.3 km et vertical de 90 niveaux verticaux. sur quelques situations et quelques mois, jours à l'aéroport d'Alger HOUARI BOUMEDIEN . on utilisant une nouvelle routine qui calcule la visibilité à la base de la loi de Koschmieder qui relie la visibilité horizontale aux Coefficients d'extinction des différentes hydrométéores.

Dans le cadre de ce travail, nous avons effectué une recherche bibliographique sur le brouillard, brume leurs formations, dissipation et leurs différents types ainsi leurs relations avec la visibilité météorologique. Nous avons également cherché des relations de paramétrisation de la visibilité.

Nous avons choisi un total de 31 jours divisés en 17 jours du mois Décembre et 13 jours du mois de Mai de la même année 2018. Les simulations de cette nouvelle configuration ont été comparées au Metars de l'aérodrome d'Alger (DAAG). Les scores obtenus montrent une assez bonne saisie de ce nouveau schéma des épisodes de baisse de visibilité due aux nuages bas (brume et brouillard), avec une meilleure saisie au mois de Mai qu'en mois de Décembre, sans que les raisons de cette différence ne soient expliquées jusqu'à présent.

## **References bibliographiques :**

### **[01] ref :**

<https://www.technoscience.net/glossairedefinition/Meteorologie-page-3.html>

### **[02] Ref :**

<https://www.futurasciences.com/planete/definitions/meteorologie-precipitations-14543/>

### **[03] ref**

<https://www.meteocontact.fr/pour-aller-plus-loin/les-precipitations>

### **Ref[04]**

[https://www.meteoblue.com/fr/meteo/semaine/message\\_france\\_2994200](https://www.meteoblue.com/fr/meteo/semaine/message_france_2994200)

### **Ref [05] :**

<https://www.meteo.tn/fr/rapport>

### **Ref [06] :**

<https://www.lavionnaire.fr/>

### **Ref [07] :**

<http://infoclimat.org/>

### **Ref[08] :**

**Manuel de météorologie :** un guide pour comprendre les phénomènes atmosphériques et climatiques **Alfio Giuffrida, Girolamo Sansosti**

### **Ref [09] :**

[livre meteorologie de l'ecole national de l'aviation civile toulouse](#)  
[j.BESSE A.FOURNIE M.RENAUDIN](#)

### **Ref [10] :**

<https://alertes-meteo.com>

### **Ref [11] :**

<https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?rubrique148>

**Ref [12]**

<https://www.researchgate.net/publication/27616067> Les origines de la prevision numerique du temps et de la modelisation climatique

**Ref [13]:**

«<https://mesonet.agron.iastate.edu>.

## **Conclusion général :**

Le présent travail avait pour objectif d'évaluer puis validé la nouvelle configuration AROME avec une résolution horizontale de 1.3 km et vertical de 90 niveaux verticaux. sur quelques situation et quelque mois, jours à l'aéroport d'Alger HOUARI BOUMEDIEN . on utilisant une nouvelle routine qui calcule la visibilité à la base de la loi de Koschmieder qui relie la visibilité horizontale aux Coefficient d'extinction des différentes hydrométéores.

Dans le cadre de ce travail, nous avons effectué une recherche bibliographique sur le brouillard, brume leurs formation, dissipation et leurs différents types ainsi leurs relations avec la visibilité météorologique. Nous avons également cherchons des relations de paramétrisation de la visibilité.

Nous avons choisi un total de 31 jours divisé en 17 jours du mois Décembre et 13 jours du mois de Mai de la même année 2018. Les simulations de cette nouvelle configuration ont été comparées au Metars de l'aérodrome d'Alger (DAAG). Les scores obtenus montrent une assez bonne saisie de ce nouveau schéma des épisodes de baisse de visibilité due aux nuages bas (brume et brouillard), avec une meilleure saisie au mois de Mai qu'en mois de Décembre, sans que les raisons de cette différence ne soient expliquées jusqu'à présent.