

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**

**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA**

**Faculté des sciences de l'ingénieur**

**Département d'Aéronautique**

**MEMOIRE DE MASTER SPECIALITE OPERATIONS AERIENNES**

*Mise en exploitation par visibilité du cycle  
atmosphérique des poussières désertiques  
obtenues par le modèle atmosphérique ALADIN  
couplé avec le modèle de surface SURFEX*

**Réaliser par :**

**MEKAHLIA Abdelhafid**

**HELLAL Bilel**

**Encadré par :**

**Mr. REZOUG.T**

**Mr. MOKHTARI.M**

*-Septembre 2012-*

## **REMERCIEMENT**

*Avant tout nous remercions ALLAH qui nous a donnés la force et le courage pour terminer ce travail.*

*Nous tiennent à exprimer notre plus vifs remerciements à Mr REZOUG, Maître assistant à l'institut aéronautique de Blida qui nous a proposer ce thème, et pour leur encadrement et leur suivie.*

*Nous adressons notre remerciements les plus sincères à Mr MOKHTARI notre encadreur de l'office national de la météorologie qui nous a consacré beaucoup de son précieux temps en tant que haut cadre très sollicité par son entreprise, pour son soutien et son aide.*

*Mercie a Mr HAMADACH, directeur de l'ONM pour son accord concernant notre stage.*

*On tient a remercié également notre Co-promoteur Mr AMMARA de l'ONM pour ses conseils, ses avis, et ses remarques.*

*Notre remerciement vont aussi à l'égard de toutes personne ayant contribué de près ou loin ou qui nous encouragés à faire ce travail.*

***Bilel et Abdelhafid***





## **DEDICACES**

*A ma mère qui a sacrifié sa vie pour mon bonheur, aucune expression  
ne pourrait exprimer toute ma reconnaissance envers vous*

*Maman ;*

*A l'Âme de mes grands-parents maternel dieu les miséricordes,*

*A mes oncles maternels pour leurs soins et leur tendresse*

*A ma seule sœur que je l'aime beaucoup.*

*A tous ceux qui me connaissent de près et de loin*

***Bilal***

# Dédicace

*A mes très chers parents*

*Dont leurs mérites, leurs sacrifices, leurs qualités humaines m'ont permis de vivre ce jour.*

*Les mots me manquent pour exprimer toute la reconnaissance, la fierté et le profond amour que je vous porte pour les sacrifices qu'ils ont consenti pour ma réussite, qu'ils trouvent ici le témoignage de mon attachement ma reconnaissance, gratitude et respect, que Allah leur préservent bonne santé et longue vie. Tous mes sentiments de reconnaissance pour vous.*

*A mes frères & sœurs*

*J'espère atteint le seuil de vos espérances. Que ce travail soit l'expression de ma profonde affection Je vous remercie pour le soutien moral et l'encouragement que vous m'avez accordés .Je vous souhaite tout le bonheur que vous méritez En leur souhaitant un brillant avenir.*

*A mes oncles et ma famille*

*Que je ne pourrais nommer de peur d'en oublier mon attachement et mes affections les plus sincères*

*A mes ami(e) s*

*A tous ceux qui ont su m'apporter aide et soutien aux moments propices, Je dédie ce travail, reconnaissant et remerciant chaleureusement.*

**Abdelhafid**

## Abréviation

<b>Aod</b>	Aerosol optical depth
<b>ALADIN</b>	Aire Limitée, Adaptation dynamique, Développement InterNational
<b>Bc</b>	Black carbon
<b>CIE</b>	Commission internationale de l'éclairage
<b>CAVOK</b>	Ceiling and visibility ok
<b>DEAD</b>	Dust Entrainment And Deposition
<b>IFR</b>	Instrument flight rules
<b>Ipcc</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>Lat</b>	Latitude
<b>Lon</b>	Longitude
<b>METAR</b>	METéo d'Arrivée
<b>Modis</b>	MODerate resolution Imaging Spectroradiomet sur les plateformes, radiomètre embarquer sur des plateformes.
<b>Msg</b>	Meteosat Second Generation
<b>Onm</b>	Office nationalde la météorologie
<b>Oc</b>	Organic carbon
<b>PM</b>	Particulate Matter concentration massique des particules de diametre aérodynamique inférieur a x um
<b>POM</b>	Portée optique météorologique
<b>RVR</b>	Portée visuelle de piste
<b>Seviri</b>	Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager
<b>SIGMET</b>	SIGNificatif METéo
<b>SPECI</b>	SPECIfique

<b>SVR</b>	Portée visuelle oblique
<b>Ss</b>	Sea salt
<b>SURFEX</b>	Surface Externalisée
<b>TAF</b>	Terrain Arrival Forecast
<b>TEMSI</b>	TEMps Significatif
<b>TEND</b>	TENDances
<b>Tg</b>	Tira gramme
<b>Tsp ,TPS</b>	Total des particules en suspension
<b>VFR</b>	Visuel flight rules
<b>WMO</b>	Organisation Météorologique Mondiale
<b>Ws</b>	Water soluble
<b>UNEP</b>	Programme Environnemental des Nations Unies
<b>ZCIT</b>	Zone de Convergence Inter Tropicale

## Résumé

Des développements récentes concernant la prise en compte de cycle atmosphérique des poussières désertiques ont été réalisés avec le modèle atmosphérique Aladin couplé au modèle de surface SURFEX. Ce système couplé permet des prévisions des concentrations de poussière désertiques, des épaisseurs optiques AOD, des coefficients d'extinction ...etc. une étude de validation a été réalisée a partir de images satellites -MODIS et MSG-SEVIRI- et des mesures Aeronet des épaisseurs optiques Mokhtari et al.2012. L'objectif de ce sujet est d'élargir cette validation en tenant compte des visibilités horizontales observées par les différentes stations météorologiques nationales.

## ملخص

تحديثات و ابتكارات جديدة تهتم بدراسة دورة الغبار الصحراوي في الغلاف الجوي تحققت بالمقارنة مع النموذج الجوي ALADIN المدمج مع النموذج السطحي SURFEX.

هذا النظام المدمج مكن من التنبؤ بتركيز الغبار الصحراوي في الغلاف الجوي، كما مكن أيضا من معرفة السمك البصري (AOD) لهذه التراكيز وكذا معاملات تخامدها في الجو... الخ.

وقد أجريت دراسة تحقيقية للتأكد من صحة هذه التنبؤات بالمقارنة مع صور الأقمار الصناعية MODIS و MSG-SEVRE من جهة وقياسات القمر الصناعي AERONET للسمك البصري من جهة أخرى والدراسة مثبتة باسم "مختاري وآخرون 2012".

يأتي هدف موضوع المذكرة لتوسيع نطاق هذه المصادقة المجراة من طرف مختاري بالمقارنة مع الإحصائيات النظرية لمدى الرؤية الأفقية لمختلف محطات الرصد الجوي.

## Abstract

The recent developments concerning taking into account atmospheric cycle pouders had been the atmospheric model ALADIN coupled with the surface model SURFEX. This coupled system permit previsions of concentrations of desert pouders, optical depth AOD, extinction coefficient, ...

A study of validation had been realized based on satellite images MODIS and MSG-SEVIRI and AERONET musirs of AOD by MOKHTARI and OTHERS 2012.

The objective of this subject is to enlarge this validation taking into account horizontal visibilities observed by different national meteorological stations.

# TABLES DES MATIERES

## TABLE DES MATIERES

<u>TITRE</u>	<u>PAGE</u>
<b>INTRODUCTION GENERALE -----●</b>	<b>1 ; 2</b>
<b>PARTIE A. LA RECHERCHE BIBLIGRAPHIQUE -----●</b>	<b>3-34</b>
<b>CHAPITRE 1. LA BIOGÉOGRAPHIE DES GRANDS DÉSERTS -----●</b>	<b>3-10</b>
<b>1.1 Les déserts -----●</b>	<b>3</b>
1.1.1 Définition -----●	3
1.1.2 Circulation général et déserts -----●	3
1.1.2.1 Description -----●	3
1.1.2.2 Déplacement des cellules de HADLEY -----●	4
1.1.3 Comment se forment les déserts -----●	5
1.1.4 Les différents types de désert -----●	5
1.1.4.1 Les déserts zonaux -----●	5
1.1.4.2 Les déserts côtiers -----●	6
1.1.4.3 Les déserts d'éloignement -----●	6
1.1.4.4 Les déserts d'Abri -----●	6
1.1.4.5 Les déserts chauds et déserts froids -----●	7
<b>1.2 Les déserts du SAHARA -----●</b>	<b>7</b>
1.2.1 Les caractéristiques du désert du SAHARA -----●	7
1.2.2 Les influences du SAHARA sur le climat mondial -----●	9
1.2.3 Les poussières Sahariennes -----●	10
<b>CHAPITRE 2. DEFINITION ET PHYSIQUE DES AEROSOLS -----●</b>	<b>11-23</b>
<b>2.1 Définition -----●</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Les sources d'aérosols -----●</b>	<b>11</b>
<b>2.3 Granulométrie -----●</b>	<b>12</b>
<b>2.4 Caractéristiques optiques des aérosols -----●</b>	<b>15</b>
2.4.1 Indice de réfraction -----●	15
2.4.2 Épaisseur optique d'aérosol (AOD) -----●	16
<b>2.5 Distribution verticale des aérosols -----●</b>	<b>17</b>
<b>2.6 Les aérosols désertiques -----●</b>	<b>19</b>
2.6.1 Zones sources -----●	19
2.6.2 Transport -----●	20

2.6.3	Zones de puits -----●	21
2.6.4	Mouvement d'un grain de sable « reptation et saltation » -----●	22
2.6.5	Impacts -----●	23
<b>CHAPITRE 3. LA VISIBILITE -----●</b>		<b>24-34</b>
3.1	<b>Définitions -----●</b>	<b>24</b>
3.1.1	Définition météorologique -----●	24
3.1.2	Définition aéronautique -----●	24
3.1.2.1	La visibilité-----●	24
3.1.2.2	Visibilité dominante -----●	24
3.1.2.3	Portée visuelle de piste (RVR) -----●	24
3.1.2.4	Portée visuelle oblique (SVR) -----●	25
3.1.2.5	Portée optique météorologique (POM) -----●	25
3.1.2.6	Coefficient d'extinction -----●	25
3.2	<b>Phénomènes météorologiques qui réduisent la visibilité -----●</b>	<b>25</b>
3.2.1	Lithométéores -----●	25
3.2.1.1	Brume de poussière -----●	25
3.2.1.2	Brume sèche-----●	26
3.2.1.3	Chasse-sable-----●	26
3.2.1.4	Tempête de sable -----●	27
3.2.2	Hydrométéores -----●	27
3.2.2.1	Brouillard-----●	27
3.2.2.2	Brume -----●	27
3.2.2.3	Précipitations -----●	28
3.3	<b>Phénomènes courants qui réduisent la visibilité -----●</b>	<b>28</b>
3.4	<b>La mesure de la visibilité -----●</b>	<b>28</b>
3.4.1	Observation visuelle -----●	29
3.4.1.1	Station météorologique -----●	29
3.4.1.2	Sur la piste -----●	29
3.4.2	Observation au moyen d'instruments -----●	30
3.4.2.1	Transmissomètre -----●	30
3.4.2.2	Diffusomètres -----●	31
3.5	<b>Méthodes de transmission et de compte rendu -----●</b>	<b>32</b>
3.5.1	Format texte -----●	32
3.5.2	Format carte -----●	34

<b>PARTIE B. EXPLOITATION DES DONNEES ET RESULTATS</b>	<b>-----● 35-60</b>
<b>CHAPITRE 4. OUTILS ET METHODES</b>	<b>-----● 35-49</b>
<b>4.1 La prévision numérique du temps</b>	<b>-----● 35</b>
4.1.1 Généralité sur la prévision numérique du temps	-----● 35
4.1.2 Définition Modèle de prévision du temps	-----● 36
4.1.3 Le Modèle ETA	-----● 36
4.1.4 Le modèle ALADIN	-----● 38
4.1.5 Le modèle SURFEX	-----● 39
4.1.6 Couplage ALADIN/SURFEX	-----● 39
<b>4.2 Relations et corrélation</b>	<b>-----● 40</b>
4.2.1 Corrélation entre épaisseur optique et visibilité	-----● 40
4.2.2 Corrélation entre épaisseur optique et visibilité via concentration	-----● 41
4.2.2.1 Relation entre épaisseur optique et concentration massique	-----● 41
4.2.2.2 Relation entre concentration et visibilité	-----● 42
<b>4.3 Les données utilisées</b>	<b>-----● 43</b>
4.3.1 Présentation de la zone d'étude	-----● 43
4.3.2 Les données des visibilités observées	-----● 44
4.3.3 Les données des épaisseurs optiques prévues	-----● 44
<b>4.4 Programmation, description et présentation Algorithmique</b>	<b>-----● 45</b>
4.4.1 La structure du programme	-----● 45
4.4.1.1 Premier bloc (DECLARATION)	-----● 45
4.4.1.2 Deuxième bloc (SPECIFIE L'ADRESSE DES FICHIERS INPUT)	-----● 46
4.4.1.3 Troisième bloc (LECTURE LES DONNEES D'ENTREE)	-----● 47
4.4.1.4 Quatrième bloc (TRAITEMENT DES DONNEES ET AFFICHAGE DES RESULTATS)	-----● 48
4.4.2 Schéma descriptif	-----● 48
<b>CHAPITRE 5. PREVISION DE VISIBILITE</b>	<b>-----● 50-60</b>
<b>5.1 Choix des sites</b>	<b>-----● 50</b>
<b>5.2 Le passage de l'épaisseur optique à la visibilité</b>	<b>-----● 50</b>
5.2.1 Le passage de l'épaisseur optique à la visibilité via la concentration	-----● 50
5.2.2 Le passage direct de l'épaisseur optique à la visibilité	-----● 51
<b>NOTE D'EXPLOITATION</b>	<b>-----● 61;62</b>
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>-----● 63</b>

# LISTES DES FIGURES

## LISTE DES FIGURES

<u>TITRE</u>	<u>PAGE</u>
<b>PARTIE A. LA RECHERCHE BIBLIGRAPHIQUE</b> -----●	<b>3-35</b>
<b>CHAPITRE 1. LA BIOGÉOGRAPHIE DES GRANDS DÉSERTS</b> -----●	<b>3-10</b>
<b>Fig1.1.2.1</b> Circulation de HADLEY -----●	<b>4</b>
<b>Fig1.1.2.2-a</b> Circulation générale en Juin - Juillet – Août -----●	<b>4</b>
<b>Fig1.1.2.2.b</b> Circulation générale en Décembre - Janvier – Février -----●	<b>5</b>
<b>Fig1.2.1</b> Le désert du Sahara -----●	<b>7</b>
<b>Fig1.2.3</b> Répartition des déserts -----●	<b>10</b>
<b>CHAPITRE 2. DEFINITION ET PHYSIQUE DES AEROSOLS</b> -----●	<b>11-23</b>
<b>Fig2.2</b> Estimation des flux d'émission moyens annuels en masse de différents types d'aérosols pour l'année 2000 (rapport IPCC. 2001). Le tira gramme est défini par (1Tg=1012g) -----●	<b>12</b>
<b>Fig2.3-a</b> Classification et taille des particules présentes dans l'atmosphère -----●	<b>12</b>
<b>Fig2.3-b</b> Quelques images d'aérosols-----●	<b>13</b>
<b>Fig2.3-c</b> Présentation simplifiée de la distribution en masse d'une population de particules de diamètres aérodynamiques différents -----●	<b>14</b>
<b>Fig2.4.1</b> indice de réfraction $\eta$ de 6 types d'aérosols a 0% d'humidité relative et a 550 nm selon Chazette et Louisse [2001] et Léon [2000] ; $Re(\eta)$ désigne la partie réelle de l'indice et $Im(\eta)$ , la partie imaginaire -----●	<b>15</b>
<b>Fig2.4.2</b> Origine de l'atténuation de la radiation. Les petites sphères correspondent aux photons alors que les grandes sphères marron représentent les aérosols -----●	<b>17</b>
<b>Fig2.5</b> Schéma de la structure verticale de la troposphère : la zone grise définit la Couche Limite Atmosphérique et le reste la troposphère libre. -----●	<b>18</b>
<b>Fig2.6.1</b> Principales sources d'émission de poussières, axes principaux et distances de transport (d'après Péwé, 1981) -----●	<b>19</b>
<b>Fig2.6.2</b> Trajectoires des poussières sahariennes à l'intérieur du continent africain. D'après (Dulac et al. 1992; Coudé-Gaussen et al., 1987; D'Almeida, 1986; Bergametti et al., 1989) -----●	<b>20</b>
<b>Fig2.6.4</b> Mouvement du sable -----●	<b>21</b>
<b>Fig2.6.4</b> Mouvement du sable -----●	<b>23</b>

<b>CHAPITRE 3. LA VISIBILITE</b>	<b>24-34</b>
Fig3.2.1.1 Brume de poussière	26
Fig3.2.1.2 brume sèche	26
Fig3.2.1.4 Tempête de sable	27
Fig3.3 phénomènes courants réduisent la visibilité	29
Fig3.4.1.2 Exemple de table de conversion dans le cas où les feux de bord de piste sont séparés de 60 m et où le premier feu se trouve à 50 m de l'observateur. Les échelons de compte rendu sont ceux qui sont utilisés dans la Région Europe. Les valeurs minimales et maximales signalées sont respectivement 50 et 1 200 m.	29;30
Fig3.4.2.1-a Transmissomètre au bord de piste	30
Fig3.4.2.1-b Schémas de deux types de transmissomètres	31
Fig3.4.2.2-a Diffusomètre	32
Fig3.4.2.2-b Principe d'un diffusometre	32
Fig3.5.2 la visibilité sur la carte TEMSI	34
<b>PARTIE B. EXPLOITATION DES DONNEES ET RESULTATS</b>	<b>35-60</b>
<b>CHAPITRE 4. OUTILS ET METHODES</b>	<b>35-49</b>
Fig4.1.4 Domaine ALADIN	38
Fig4.2.2.1 Section massique d'extinction a 550 nm, Sextmass en $m^{-2} \cdot \mu g^{-1}$ , a l'humidité ambient le 12 et 13 juin 1997 au-dessus de thessaloniki d'après Ghazette et Liousse [2001]	41
Fig4.2.2.2 Relations entre visibilité (VV) en Km et concentration massique(C) en ( $\mu g/m^3$ )	42
Fig4.3.1-A Coordonnées des stations utilisées	43
Fig4.3.1-B les cinq(5) stations utilisées	43
Fig4.4.2 Schéma descriptif du programme	49
<b>CHAPITRE 5. PREVISION DE VISIBILITE</b>	<b>50-60</b>
Fig5.1 Carte des zones sources du sable	50
Fig5.2.2-A Variation des visibilités prévues et observées pour la station de TINDOUF durant la période Janvier-Février-Mars de l'année 2006	53
Fig5.2.2-B Variation des visibilités prévues et observées pour la station de TINDOUF durant la période Avril-Mai-Juin de l'année 2006	53
Fig5.2.2-C Variation des visibilités prévues et observées pour la station de TINDOUF durant la période Juillet- Août-Septembre de l'année 2006	54

<b>Fig5.2.2-D</b> Variation des visibilités prévues et observées pour la station de TINDOUF durant la période Octobre-Novembre-Décembre de l'année 2006 -----●	<b>54</b>
<b>Fig5.2.2-E</b> Variation des visibilités prévues et observées pour la station de BECHAR durant la période Janvier-Février-Mars de l'année 2006 -----●	<b>55</b>
<b>Fig5.2.2-F</b> Variation des visibilités prévues et observées pour la station de BECHAR durant la période Avril-Mai-Juin de l'année 2006 -----●	<b>55</b>
<b>Fig5.2.2-G</b> Variation des visibilités prévues et observées pour la station de BECHAR durant la période Juillet- Août-Septembre de l'année 2006 -----●	<b>56</b>
<b>Fig5.2.2-H</b> Variation des visibilités prévues et observées pour la station de BECHAR durant la période Octobre-Novembre-Décembre de l'année 2006 -----●	<b>56</b>
<b>Fig5.2.2</b> climatologie simulé par ALADIN des AOD pour les quatre trimestres période 2006-2010 -----●	<b>57</b>
a) <b>Trimestre Janvier-Février-Mars.</b> -----●	<b>57</b>
b) <b>Trimestre Avril-Mai-Juin.</b> -----●	<b>57</b>
c) <b>Trimestre Juliette-Aout-Septembre.</b> -----●	<b>57</b>
d) <b>Trimestre Octobre-Novembre-Décembre.</b> -----●	<b>57</b>
<b>Fig5.2.2-I</b> Variation des visibilités prévues et observées pour la station de TINDOUF durant la période Mai-Juin-Juillet de l'année 2006 -----●	<b>59</b>
<b>Fig5.2.2-J</b> Variation des visibilités prévues et observées pour la station de TINDOUF durant la période Août-Septembre-October de l'année 2006 -----●	<b>59</b>
<b>Fig5.2.2-K</b> Variation des visibilités prévues et observées pour la station de BECHAR durant la période Mai-Juin-Juillet de l'année 2006 -----●	<b>60</b>
<b>Fig5.2.2-L</b> Variation des visibilités prévues et observées pour la station de BECHAR durant la période Août-Septembre-October de l'année 2006 -----●	<b>60</b>
<b>NOTE D'EXPLOITATION</b> =====●	<b>62</b>

# INTRODUCTION GENERALE

## INTRODUCTION GENERAL

L'une des caractéristiques du temps observé en Afrique au nord de l'équateur est la présence quasi constante des poussières et des sables désertiques en suspension dans l'atmosphère, Depuis les grandes sécheresses climatiques sahéliennes (Sénégal, le sud de la Mauritanie, le Mali, **sud de l'Algérie**, le nord du Faso, le Niger, Nord du Nigeria le centre du Tchad, le centre de Soudan et le Cap-Vert). On y ajoute parfois : l'Ethiopie, l'Erythrée, Djibouti et la Somalie). La hausse des fréquences d'observation des types de temps associés au soulèvement et au transport de ses particules connus sous le nom de « lithométéores », a suscité un intérêt scientifique sans cesse croissant. Cette recrudescence, observée depuis 1973 dans tout le Sahel, ne devrait pas cependant nous faire oublier que les premières études qui mentionnent ces types de temps remontent aux années cinquante (Dubief, 1951)<sup>1</sup>; et que ces phénomènes représentent une composante du climat régional, que les récentes sécheresses ont exacerbé.

Les effets induits par les aérosols désertiques sont multiples et complexes:

- L'érosion éolienne qui leur donne naissance concourt à la désertification des zones

Sources.

- Ils modifient l'ensemble des rayonnements transmis au sol ou rétrodiffusés vers l'espace, affectant ainsi le gisement solaire, l'albédo planétaire, le bilan radiatif du système sol/atmosphère.

- Ils introduisent des perturbations importantes sur les mesures radiométriques satellitaires et constituent donc une gêne importante pour la détection satellitaire des paramètres de surface (température, albédo, index de végétation, etc...). Par contre on utilise leur effet sur le signal satellitaire pour les étudier par cette voie

- pollution de l'air pouvant avoir des effets néfastes sur la santé notamment sur les yeux et les voies respiratoires

- Ils réduisent la visibilité ou bien portée visuelle, gênant en particulier la navigation aérienne.

<sup>1</sup> **DUBIEF J.** (1951) : le problème de l'évaporation des sols en Algérie. Comptes rendus de la journée technique du 10 mars 1951 de l'Ass des Anc. Élèves de l'Inst. Agri d'Algérie : «quelques problèmes nord-africains relatifs à l'utilisation de l'eau en agriculture»

Pour notre domaine aéronautique, on va intéresser par cette dernière majeure conséquence des phénomènes due au soulèvement du sable et des poussières, et qu'il a des effets directs sur la navigation des aéronefs surtout dans les phases critiques des vols (décollage et atterrissage).

Une étude a été faite pour permettre la prévision de la concentration des poussières désertique par le Modèle Atmosphérique Aladin couplé au modèle de surface SURFEX (Mokhtari et al.2012)

L'objectif de ce travail pratique est de trouvé une relation adéquate entre la visibilité observé par les stations météorologiques et l'épaisseur optique prévue par le modèle de prévision Aladin ainsi qu'un coefficient de corrélation entre la visibilité observé et la visibilité prévue.

Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons au territoire national et en particulière la région de SAHARA qui est présenté par cinq (5) stations d'observations météorologiques (Näama, Ghardaïa, Tiaret, Tindouf, et Bechar). On a choisi deux stations (Tindouf et Bechar) car ils sont des sources du phénomène de sable.

De ce fait, notre mémoire est subdivisé on deux parties :

La partie A : « la recherche bibliographique », cette partie représente le coté théorique de l'étude, elle contient les chapitres suivantes :

Le premier chapitre « la biogéographie des grandes désertes » : il donne une idée sur les déserts en général, le désert du SAHARA et ces caractéristiques. Tandis que le deuxième chapitre parle sur les aérosols, définition, types, caractéristiques physiques et les aérosols désertiques. Le dernier chapitre de cette partie il donne des informations sur la visibilité, définitions, mesure, et l'information sur ce paramètre.

La partie B : « la prévision de la visibilité », c'est la partie pratique, a laquelle on passe des paramètres AOD prévus aux visibilités prévues, elle contient deux chapitre, le quatrième présente les outils et la méthodologie utilisées dans ce travail, et le cinquième chapitre est une présentation des résultats obtenues avec une note d'exploitation.

# PARTIE A

# RECHERCHE

# BIBLIOGRAPHIQUE

**CHAPITRE 1** la biogéographie des grands déserts

**CHAPITRE 2** définition et physique des aérosols

**CHAPITRE 3** la visibilité

# **Chapitre 1 la biogéographie des grands déserts**

## CHAPITRE 1

### LA BIOGÉOGRAPHIE DES GRANDS DÉSERTS

#### 1.1 Les déserts

La surface de notre planète est couverte de 14,9 billions d'hectares de terre. Une étude de l'UNEP (Programme Environnemental des Nations Unies) montre que 6.1 billions d'hectares en constituent des terres sèches, dont 1 billion d'hectares forment par nature du désert hyperaride. Le reste de ces terres sèches sont soit devenues du désert, soit sont menacées par la désertification. Un quart de la population mondiale occupe les terres sèches, et en dépendent pour leur existence.

Le mot désert est chargé de rêves et de symboles. Il évoque silence, pureté, absolue, mais aussi un lieu magique, hanté, source d'effrois et d'épreuves. Terre du dépouillement, de la soif et de la faim, il envoûte. Une longue tradition veut que le désert trempe les âmes fortes et soit le cadre privilégié de la contemplation et de la révélation.

C'est une région caractérisée par une grande sécheresse ou par une température moyenne très basse entraînant la pauvreté extrême de la végétation et une très grande faiblesse de peuplement. Le désert est ainsi une zone inhabitée, très sèche, aride où de brusques variations de température sont présentes.

##### 1.1.1 Définition

D'origine latine, le terme " Désert " signifie " Abandonné ". Il désigne un espace vide, parce qu'hostile à toute manifestation de vie. La cause première de cette hostilité est l'aridité.

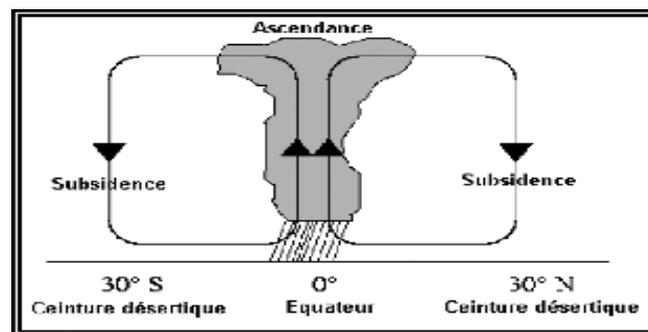
##### 1.1.2 Circulation général et déserts

###### 1.1.2.1 Description

Entre les tropiques dominant des vents d'Est réguliers et constants, les alizés. Très chauds et secs, ils peuvent se charger d'humidité après de longs parcours océaniques. Les alizés du Nord-Est de l'hémisphère Nord et du Sud-Est de l'hémisphère Sud convergent l'un vers l'autre et forcent l'air à s'élever dans la région équatoriale. Les régions équatoriales constituent donc une zone de basses pressions (Zone de Convergence Inter Tropicale, ZCIT). Ce sont ces régions qui reçoivent le plus d'énergie solaire. Les masses d'air humide soulevées

par la convergence génèrent des nuages de type cumulonimbus et des précipitations intenses. L'imagerie satellitaire révèle clairement ce phénomène.

A la tropopause, vers 15 km d'altitude, ces masses d'air qui ont perdu une grande partie de leur humidité sous forme de précipitations, divergent et finissent par redescendre à la latitude 30°. Lors de cette subsidence, l'air se réchauffe et son humidité relative diminue. Les régions subtropicales ont donc un régime anticyclonique, générateur d'un climat chaud et sec : c'est là que l'on retrouve la ceinture des grands déserts, tant dans l'hémisphère Nord que dans l'hémisphère Sud. Dans l'hémisphère nord ce sont le Mexique, l'Arizona, le Sahara, le désert d'Arabie, l'Iran, le désert de Gobi, et pour l'hémisphère sud la Patagonie, le sud de l'Afrique et l'Australie. Cette circulation atmosphérique globale est appelée circulation de HADLEY.

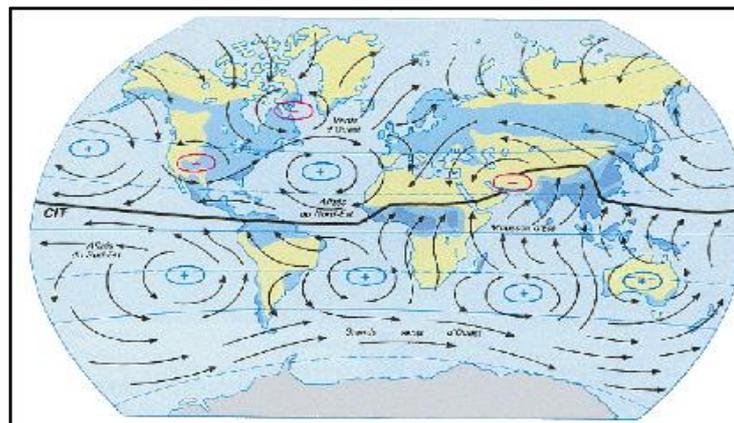


*Fig1.1.2.1 Circulation de HADLEY*

### 1.1.2.2 Déplacement des cellules de HADLEY

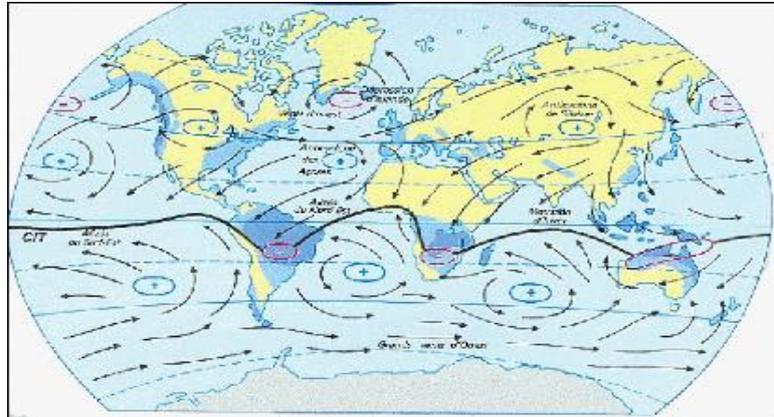
a) En **juin juillet août**, du fait de l'inclinaison de la Terre dans l'hémisphère nord, la zone qui reçoit le plus de chaleur de la part du soleil se trouve au voisinage de 10° de latitude nord. C'est donc l'hémisphère sud qui est le plus déficitaire en énergie. La cellule de Hadley sud y est alors la plus intense.

En conséquence, la ZCIT se déplace vers le nord. Elle apporte la pluie dans les zones sahéliennes (sud du Sahara), tandis que les précipitations des latitudes tempérées se déplacent vers le nord



*Fig 1.1.2.2-a Circulation générale en Juin - Juillet - Août*

b) En **décembre janvier février**, c'est dans l'hémisphère nord que la cellule de Hadley est la plus importante. Le voile de cirrus sur l'Afrique du Nord atteint parfois l'Égypte. Le déplacement de la ZCIT se fait vers le sud. La saison sèche commence au Sahel et la pluie tombe dans le nord du désert de Kalahari (Botswana), tandis que les précipitations liées au front polaire sont responsables de la saison humide au nord du Sahara.



**Fig1.1.2.2.b Circulation générale en Décembre - Janvier - Février**

### 1.1.3 Comment se forment les déserts

Partout où la pluie ne peut tomber, un désert se forme. Mais d'où vient la pluie et quelles sont les raisons qui l'empêchent de tomber ? L'air emmagasine l'humidité sous forme de vapeur d'eau invisible en quantités qui dépendent de sa température. L'air chaud contient plus de vapeur d'eau, que l'air froid. Les nuages naissent quand la vapeur est suffisante pour se condenser en gouttelettes, qui grossissent et tombent (pluie). Elle n'arrive pas toujours sur le sol car, dans sa chute, de l'air moins saturé en eau peut l'absorber. Du brouillard et de la rosée peuvent aussi se former quand l'air humide arrive au contact d'un sol froid. Il existe quatre sortes de déserts parce qu'il y a quatre raisons géographiques et climatiques qui empêchent la pluie de tomber.

### 1.1.4 Les différents types de désert

#### 1.1.4.1 Les déserts zonaux

La carte du monde montre deux larges bandes désertiques de chaque côté de l'équateur, au niveau des tropiques : ce sont les ceintures sèches de la terre. A l'équateur, l'air chaud monte et se refroidit laissant échapper l'humidité qui se condense en gouttes et il pleut; en altitude, cet air sec et froid se divise en deux parties l'une se dirige vers l'hémisphère nord, l'autre vers l'hémisphère sud. En redescendant sur les tropiques, l'air se réchauffe et absorbe

toute l'humidité présente : un chapelet de déserts chauds, très ensoleillés, au ciel sans nuages, se forme aux latitudes 25° à 35°.

#### a) Hémisphère Nord

Désert Mexicain

Sahara Arabie, Sinaï, Gobie.

#### b) Hémisphère Sud

Kalahari, Australie.

### 1.1.4.2 Les déserts côtiers

Des courants marins glacés longent les côtes occidentales des continents, ils refroidissent les vents qui ne peuvent absorber que peu d'humidité, le jour la brise marine presque sèche et froide se réchauffe au contact du sol où elle absorbe le peu d'humidité et dessèche la terre. La nuit, le désert est plus froid que la brise marine et la faible humidité se condense en brume.

Les plus grands déserts côtiers sont hyper arides :

- Désert du Namib (Afrique Australe).
- Désert de l'Atacama (au nord du Chili).

### 1.1.4.3 Les déserts d'éloignement

Lorsque les vents, venus de la mer traversent de vastes continents comme l'Asie ou l'Australie, ils perdent toutes leurs humidités au cours de leurs longs chemins. Le centre du continent est aride avec des déserts froids en Asie ou chauds en Australie.

### 1.1.4.4 Les déserts d'abri

Si un vent humide, chargé de nuages, rencontre une montagne il monte, il se refroidit, la vapeur d'eau se condense et il pleut sur le versant de la montagne exposée au vent.

Sur l'autre versant, l'air froid est sec et n'apporte aucun nuage; en redescendant, il se réchauffe et absorbe l'humidité du sol. « Désert du Takla-Makan (Chine) ».

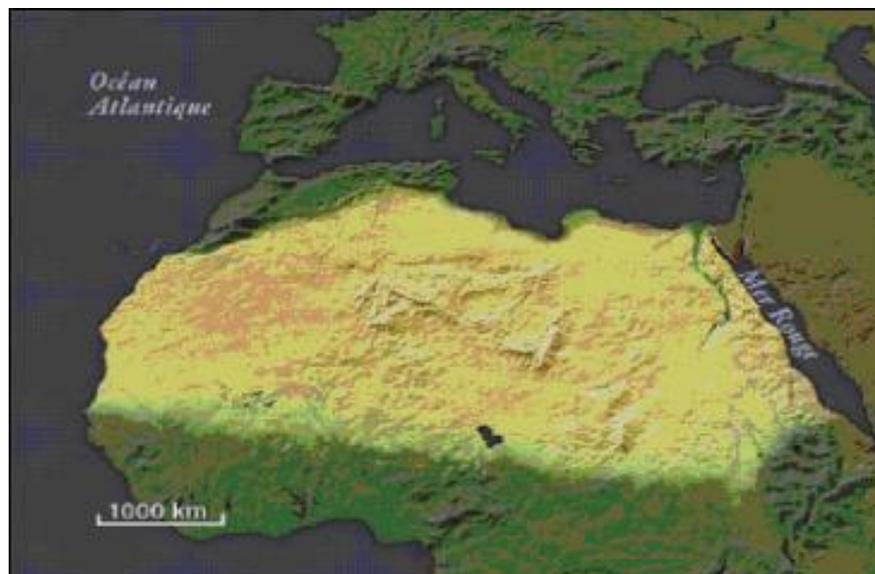
#### 1.1.4.5 Les déserts chauds et déserts froids

Le climat d'un désert dépend de son altitude. Il fait plus chaud au niveau de la mer dans le Namib qu'à 2000 mètres dans le Hoggar. Mais le climat dépend aussi de la position du désert par rapport à l'équateur, c'est à dire de sa latitude. Les déserts d'Asie, situé loin de l'équateur, reçoivent des influences polaires et sont très froids en hiver leurs températures peuvent descendre à  $-50^{\circ}\text{C}$ . Les déserts d'Afrique plus proches de l'équateur sont beaucoup plus chauds, le record de chaleur est atteint en Libye  $+56^{\circ}\text{C}$ .

## 1.2 Les déserts du SAHARA

### 1.2.1 Les caractéristiques du désert du SAHARA

Il est le plus vaste désert du monde. Il se trouve en Afrique, s'allongeant sur 5000 km de l'Atlantique à la mer Rouge et sur 2000 km du pied méridional de l'Atlas et du littoral de la Méditerranée Orientale à une ligne joignant St Louis à Khartoum, limite septentrionale du climat sahélien. De part et d'autre du tropique du Cancer, il s'étend sur le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Libye, l'Egypte, le Soudan, le Tchad, le Niger, le Mali et la Mauritanie



*Fig1.2.1Le désert du Sahara*

Le Sahara Algérien présente trois types de paysages différents :

- Les hamadas, plateaux de dalles rocheuses;
- Les regs, immenses étendus de graviers et de cailloux;
- Les ergs, immenses étendus de dunes de sable accumulées par l'érosion.

Au sud, avec 2 millions de Km<sup>2</sup> de désert, le Sahara, l'un des plus grand désert du monde. Il représente près de 85% de la superficie de l'Algérie et se compose d'immenses dunes, d'ergs, d'oasis et de montagnes dont le massif du Tassili et celui du Hoggar où culmine le plus haut mont d'Algérie avec 3000 mètres d'altitude. Il règne dans cette région un climat désertique avec de grandes variations diurnes. Le pied sud de l'Atlas tellien marque la limite du climat aride : sec et tropical, avec de grands écarts de températures en hiver : la température moyenne est de 36°C le jour.

L'unité du Sahara est due à la sécheresse extrême du climat, qui rend les cultures impossibles en dehors des oasis. Mais le relief présente des aspects variés : au centre et à l'Est, les grands massifs montagneux, en partie volcaniques, du Hoggar, de l'Aïr et du Tibesti ; au Nord, les dunes du Grand Erg ; dans de nombreuses autres régions, de vastes plaines et des plateaux couverts de pierre (les regs).

Les grands massifs de dunes, les ergs, se localisent dans les parties basses de la topographie. Façonnés par les vents les plus réguliers, comme les alizés au Sahara ou en Australie, les ergs forment des alignements de dunes, parallèles à la direction des vents dominants, et séparés par des couloirs. Les dunes des ergs peuvent aussi avoir la forme de grandes pyramides, dépassant souvent 200 m de haut, notamment dans le Grand Erg oriental en Algérie. Avec 200 000 km<sup>2</sup> de superficie, l'erg de Libye est l'un des plus grands du monde. Les dunes des ergs ne se déplacent pas. Il existe des dunes mobiles, généralement isolées à la périphérie des ergs ou sur les plateaux pierreux. Elles se sont constituées à la faveur d'un rocher ou d'une touffe de végétation qui fixe le sable. Le vent modèle les dunes isolées en croissants, dont les pointes sont allongées dans le sens du vent. Leur profil est dissymétrique: le versant au vent est en pente douce, le versant sous le vent a une forte pente.

### 1.2.2 Les influences du SAHARA sur le climat mondial

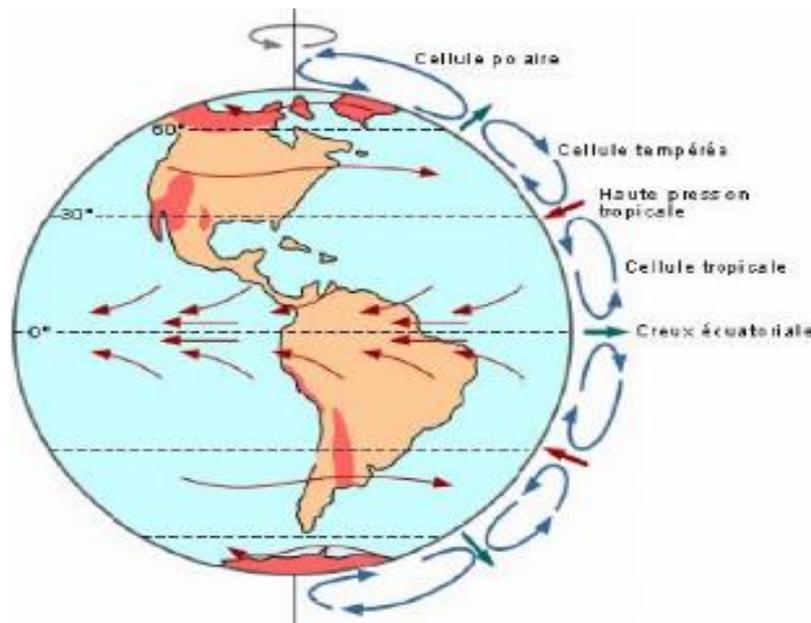
Le climat du Sahara, chaud, ensoleillé et aride, est caractéristique de celui d'un désert chaud, situé de part et d'autre d'un tropique. Il résulte de la subsidence de l'air sous l'effet des anticyclones permanents qui se produisent entre 25° et 35° de latitude nord. Les précipitations sont très rares et irrégulières ; la plupart des régions reçoivent en moyenne moins de 130 mm de pluie par an, et certaines, comme le Tanezrouft (Algérie) ou le désert Libyque, restent plusieurs années sans pluie. Les pluies peuvent survenir sous la forme d'averses très brutales, et l'eau ruisselle dans les oueds.

L'insolation est de plus de trois mille heures par an. Les températures diurnes sont très élevées, pouvant dépasser 50 °C (jusqu'à 66 à In Salah), et l'amplitude thermique entre le jour et la nuit est souvent supérieure à 35 ou 40 °C ; l'amplitude annuelle peut atteindre 50 °C ; en hiver, il peut geler quelques jours à Tamanrasset, par exemple. Ces brusques variations de température entraînent en plus de l'érosion éolienne une désagrégation mécanique des roches. Le relief du Sahara est un socle massif très anciennement consolidé. Il est recouvert de terrains sédimentaires, est constitué de cuvettes (Tafilalet), de plateaux (Ennedi, Tadmait et Tassili) ou hamadas (Ténéré), d'amoncellements de pierres ou regs (Tanezrouft), d'amoncellements de sable ou ergs ainsi que de massifs cristallins (Adrar et Iforas) et volcaniques tertiaires, plus humides (Aïr, Hoggar et Tibesti) au centre et au sud. Milieu hostile à l'homme, le Sahara est une terre de contact entre la race blanche (Arabes et Berbères) et la race noire. Les Sahariens (Maures, Touaregs, Toubous et aussi Mزاب) se répartissent en deux groupes, les nomades pasteurs et les agriculteurs sédentaires dans les oasis. L'existence de celles-ci est liée à la présence de l'eau, des nappes phréatiques (puits artésiens), des écoulements souterrains (foggaras...) et à l'utilisation des cures des oueds (barrages d'épandages). La culture essentielle est le palmier-dattier qui protège les cultures vivrières (légumes, fruits et céréales). Aux ressources traditionnelles des oasis (très localisées) et des exploitations de sel (Taoudenni) se sont ajoutées celles du secteur minier et des hydrocarbures transformant des portions de désert. Principaux gisements : pétrole (Edjelé, Hassi Messaoud et Zelten) ; gaz naturel : HassiR'mel ; uranium : Aïr et Arlit ; minerai de fer : Djebilet et Idjil ; minerai de cuivre : Akjoujt, charbon : Kenadsa.

### 1.2.3 Les poussières Sahariennes

Il y a aussi d'autres phénomènes climatiques liés aux déserts comme les retombés de poussières Sahariennes partout dans le monde. Ce phénomène est dû principalement au fait que le Sahara étant excessivement chaud, les poussières s'élèvent très haut dans le ciel et sont ainsi facilement prises dans des courants d'air traversant la Méditerranée, l'Atlantique ou autres grandes étendues maritimes jusqu'au prochain continent. On a compté plus de 260 millions de tonnes de poussières Sahariennes dont 146 millions tombent dans l'eau durant leur traversée et 60 millions reviennent en Afrique. Il y a donc 50 millions de tonnes qui arrivent sur cet autre continent provoquant ainsi des pluies rouges ou des neiges colorées.

Le désert en soi est un environnement assez stable. Le paysage varie du terrain plat aux dunes de sable et montagnes élevées. Une aridité extrême et des vents violents caractérisent le désert du Sahara. Ces derniers ont une portée de 100km/h. Ils emportent le sable sur de très grandes distances, érodent les rochers et empêchent complètement toute visibilité lors des grandes tempêtes. Des dunes de sable se déplacent au cours des tempêtes violentes. Généralement, les déserts soutiennent un couvert végétal très clairsemé, ce qui est certainement vrai pour le Sahara.



*Fig 1.2.3 Répartition des déserts*

# **Chapitre 2 définition et physique des aérosols**

## CHAPITRE 2

### DEFINITION ET PHYSIQUE DES AEROSOLS

L'atmosphère est l'enveloppe gazeuse qui entoure la planète terre. Elle est composée d'azote (78%), d'oxygène (20.94%), de vapeur d'eau, de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), de gaz rares et de toute une série de composés en faible concentration. Les teneurs en vapeur d'eau, CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> (méthane), ont des implications environnementales importantes, ils constituent les principaux gaz à effet de serre. En plus des gaz, l'atmosphère contient différentes particules (fines, solides, liquides ou mixtes) ses concentration varie selon le temps présent et la nature du lieu, et qui sont de différents origines.

#### 2.1 Définition

Les aérosols sont des fines particules liquides ou solides de taille inférieure à 100 µm à l'exception des particules nuageuses (brouillard, glace, neige et pluie)

Le terme « aérosol » a été inventé par M. SCHMAUSS en 1920. Il désigne la suspension, dans le milieu gazeux, de particules solides ou liquides, ou les deux, présentant une vitesse de chute négligeable.

#### 2.2 Les sources d'aérosols

Les aérosols peuvent provenir de sources primaires, c'est-à-dire émis directement dans l'atmosphère sous forme particulaire (cendre volcaniques, embruns marins, poussières désertiques, poussières industrielles) ou de sources secondaires ce qui implique un processus de condensation de la phase gazeuse en phase particulaire (sulfates, composés organiques, etc....).

Le Tableau 2.2, présente les différents types d'aérosols ainsi que les quantités émises dans l'atmosphère pour l'année 2000.

Origine	Sources	Estimation de l'intensité (Tg/an)
<b>Naturelle</b> 94%	<u>Primaires</u>	
	Poussières minérales	2150
	Sels de mer	3340
	Poussières volcaniques	33
	Débris biogéniques	56
	Carbone suie	5.7
	<u>Secondaires</u>	
Sulfates biogéniques et volcaniques	78	
Aérosols organiques secondaires	16	
Nitrates	3.9	
	<b>Total</b>	<b>5682.6</b>
<b>Anthropique</b> 6%	<u>Primaires</u>	
	Carbone suie	6.6
	Poussières industrielles	100
	<u>Secondaires</u>	
	Sulfates anthropiques	122
	Nitrates anthropiques	14.2
Aérosols organiques	0.6	
	<b>Total</b>	<b>243.4</b>
	<b>Total</b>	<b>5926</b>

Fig2.2 Estimation des flux d'émission moyens annuels en masse de différents types d'aérosols pour l'année 2000 (rapport IPCC, 2001).

Le tira gramme est défini par (1Tg=10<sup>12</sup>g).

### 2.3 Granulométrie

La taille des aérosols s'étend sur une large gamme de rayons allant de quelques micromètre à plusieurs dizaines de micromètres. Cette varie selon la nature de la source de production des particules et en fonction de réactions que subissent les aérosols durant leur temps de résidence dans l'atmosphère.

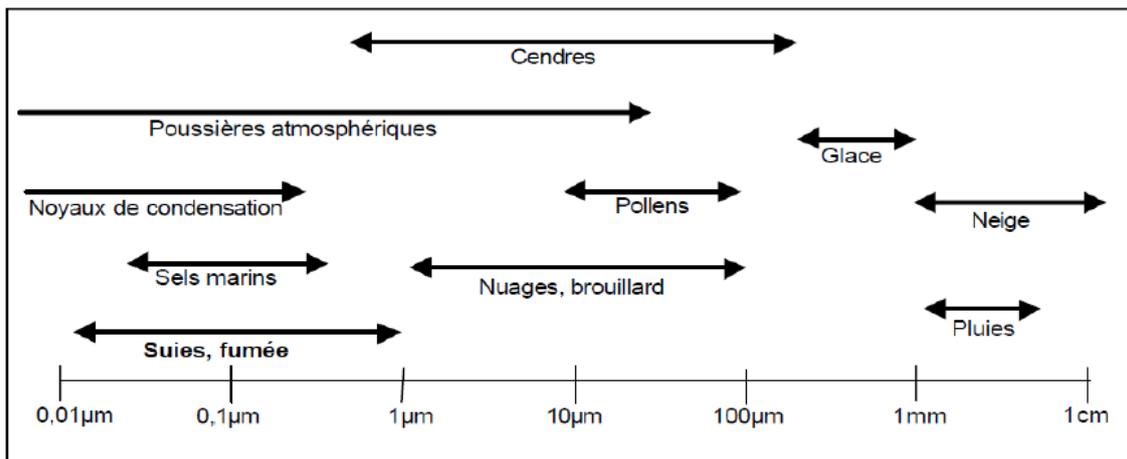
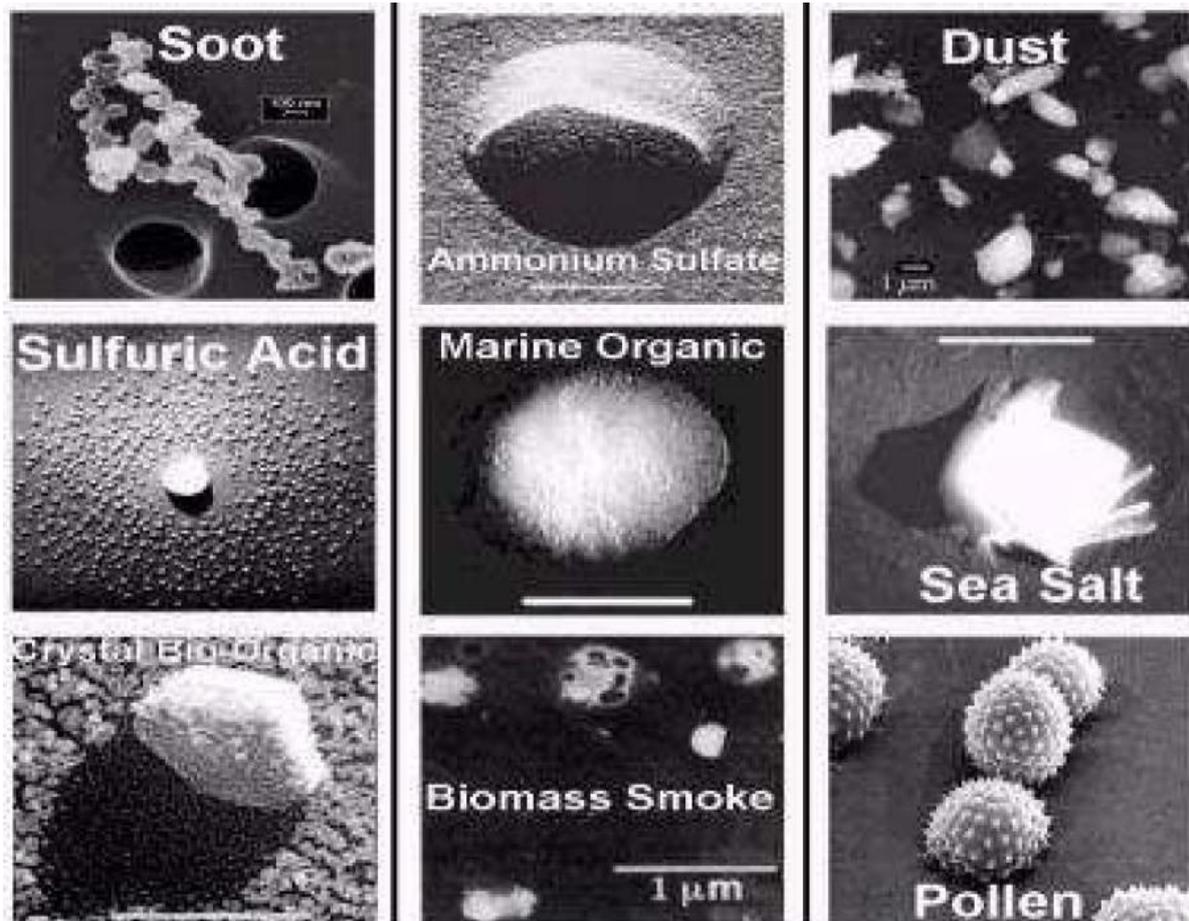


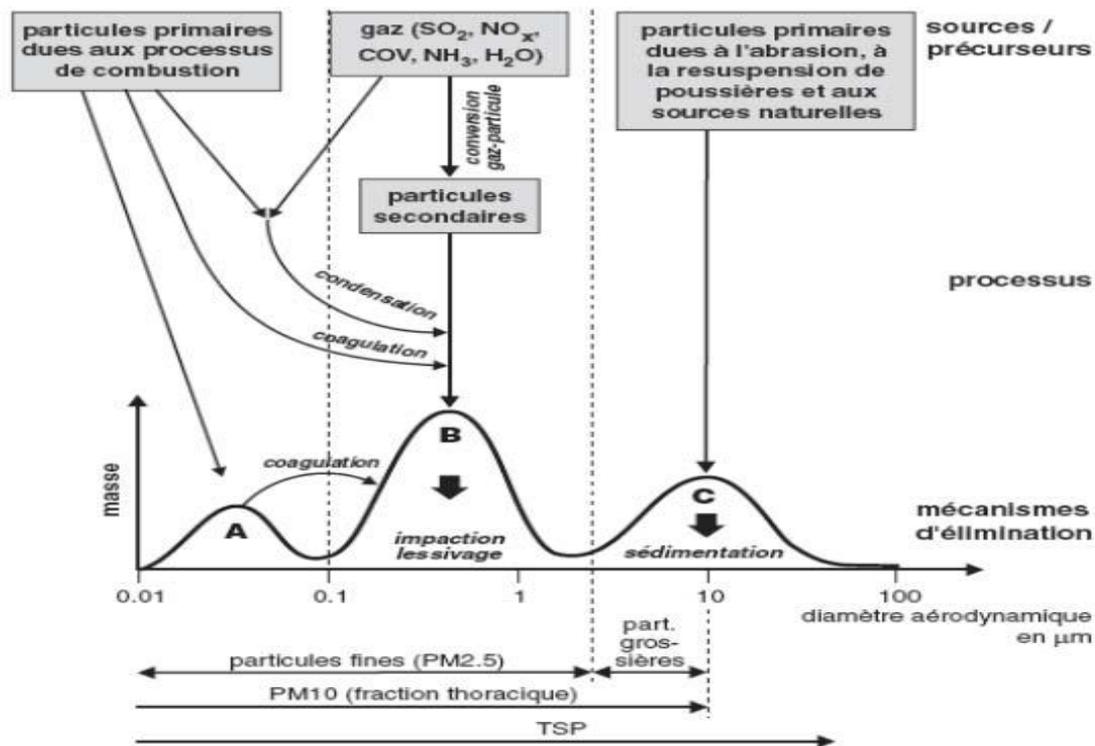
Fig2.3-a Classification et taille des particules présentes dans l'atmosphère.



*Fig2.3-b Quelques images d'aérosols*

La figure (2.3-b) présente la distribution, non pas en nombre, mais en masse d'une population de particules de diamètres aérodynamiques différents. Le diamètre aérodynamique correspond au diamètre qu'une particule sphérique d'une densité de  $1 \text{ g/cm}^3$  devrait avoir pour présenter la même vitesse de chute que la particule considérée. Le diamètre aérodynamique  $d_a$ , fonction de diamètre phasique  $d_p$  et de la densité de la particule  $\rho$  (souvent exprimée en  $\text{g.cm}^3$ ), s'écrit de la manière suivante :  $d_a = d_p \cdot \rho$

La figure (2.3-c) montre les 3 modes les plus couramment observés : le mode de nucléation (aussi appelé « ultrafin » ou A), d'accumulation (B) et grossier (C).



*Fig2.3-c Présentation simplifiée de la distribution en masse d'une population de particules de diamètres aérodynamiques différents. (A) : particules ultrafines ; (B) : mode d'accumulation et (C) : particules grossières. TPS = total des particules en suspension.*

Le mode de nucléation(A), correspondant à des particules dont le rayon physique (et non aérodynamique) est inférieur à  $0.05 \mu\text{m}$ . Très petites faces aux longueurs d'ondes solaires (visible) et telluriques (infrarouge). Elles sont, par conséquent peu actives optiquement et leur impact radiatif peu être négligé.

Le mode d'accumulation (B) correspondre a des particules de rayon physique entre  $0.05\mu\text{m}$  et  $1 \mu\text{m}$ . Celles-ci proviennent de l'agrégation de particules plus petites, de la condensation de gaz ou de la ré-évaporation de gouttelettes. Les aérosols de ce mode sont d'une grande importance du point de vue climatique car leur efficacité de diffuser la lumière est maximale (puisque leur taille est de l'ordre du spectre solaire) et ils présentent le temps de résidence le plus long dans l'atmosphère. De plus, les aérosols du mode d'accumulation sont ceux sur lesquels se forment les gouttelettes de nuages.

Les modes (A) et (B) peuvent être regroupés en un seul mode dit « fin ». Notre attention se porte tout particulièrement sur se mode puisqu'il correspond, comme on peut le voir sur la figure (**Fig2.3-c**), au mesures de qualité de l'air en concentration massique des

particules dont le diamètre aérodynamique est inférieure à  $2.5 \mu\text{m}$  (quantité appelée « PM2.5 » pour « Particulate Matter »).

Finalement le mode grossier (C) correspond à des particules de rayon physique supérieur à  $1 \mu\text{m}$ , ce type primaire et naturel.

## 2.4 Caractéristiques optiques des aérosols

### 2.4.1 Indice de réfraction

L'indice de réfraction est y une propriété optique majeure de l'aérosol puisqu'il intervient dans l'extinction de la lumière en dérivant la direction du rayonnement incident et/ou en l'absorbant. Ce paramètre, noté  $\eta$ , il est relié a la composition chimique de l'aérosol et a l'humidité relative, ainsi qu'a la longueur d'onde.

La partie réelle  $\text{Re}(\eta)$  fixe la vitesse de propagation dans le milieu et renseigne sur la déviation de la lumière par la particule. Celle-ci est généralement comprise entre 1.33 (aérosols saturés d'eau) et 1.55 (aérosols minéral), mais peut aussi atteindre 1.75 dans le domaine de la visibilité pour les particules de suie.

La partie imaginaire  $\text{Im}(\eta)$  est reliée aux propriétés d'absorption des aérosols. Elle est comprise entre  $2 \cdot 10^{-8}$  pour les aérosols purement diffusants (comme les sels marins) et 0.66 pour les aérosols les plus absorbants comme les particules de suie.

Les valeurs d'indice de réfraction  $\eta$  de différents types d'aérosols issues de la littérature sont présentés dans le tableau (Fig2.4.1) ;

	Type d'aérosol	$\text{Re}(\eta)$	$\text{Im}(\eta)$	Références
<b>Solubles</b>	<b>Sulfates</b>	1,53	6,0E-03	d'Almeida et al. [1991]
	<b>Nitrates</b>	1,53	6,0E-03	d'Almeida et al. [1991]
<b>Carbonés</b>	<b>BC</b>	1,85	4,4E-01	Marley et al. [2001]
	<b>OC</b>	1,55	5,0E-02	Von Hoyningen-Huene et al. [1998]
	<b>Poussières</b>	1,53	5,5E-03	d'Almeida et al. [1991]
	<b>Sels marins</b>	1,50	1,0E-08	d'Almeida et al. [1991]

*Fig2.4.1 indice de réfraction  $\eta$  de 6 types d'aérosols a 0% d'humidité relative et a 550 nm selon Chazette et Louisse [2001] et Léon [2000] ;  $\text{Re}(\eta)$  désigne la partie réelle de l'indice et  $\text{Im}(\eta)$ , la partie imaginaire.*

## 2.4.2 Épaisseur optique d'aérosol (AOD)

L'épaisseur optique d'une couche atmosphérique mesure le degré de transparence du milieu. Elle est définie par la fraction de rayonnement électromagnétique (ou de lumière) diffusée ou absorbée par les composants de la couche traversée.

L'intensité d'un faisceau qui traverse un milieu absorbant et diffusant est diminuée en raison de l'atténuation par un facteur  $e^{-\tau_a}$ , où  $\tau_a$  est défini comme étant l'épaisseur optique des aérosols (AOD). En réalité il faudrait tenir compte de l'épaisseur optique moléculaire mais comme nous l'avons identifié précédemment nous considérons que les observations ont été corrigées pour ce phénomène. L'AOD est le résultat de l'atténuation totale sur toute la colonne atmosphérique. Il peut être exprimé en fonction du coefficient d'atténuation  $k_e$

$$\tau_a = \int_{z_{bas}}^{z_{haut}} k_e(z) dz$$

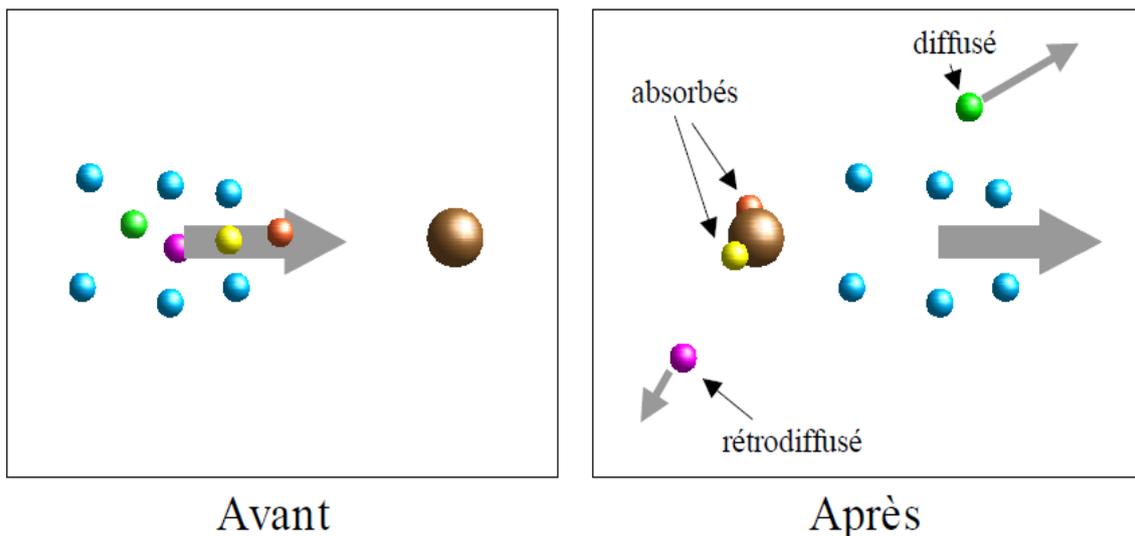
Le coefficient d'atténuation, qui possède des unités de  $m^{-1}$ , dépend de la section efficace d'atténuation pondérée par la concentration en particules. La section efficace  $\sigma_e$  représente la surface effective d'interaction couverte par une particule de telle sorte que le rapport de cette surface sur une surface de référence de  $1 m^2$  soit égal à la probabilité d'interaction entre la radiation lumineuse et la particule. La section efficace est intimement liée à la taille de la particule par le biais de l'efficacité d'atténuation  $Q_e$ . L'efficacité d'atténuation est en effet définie comme le rapport de la section efficace d'atténuation sur la section géométrique de la particule.

$$Q_e \equiv \frac{\sigma_e}{\pi r^2}$$

Le coefficient d'atténuation  $k_e$  peut être exprimé comme l'intégration sur la taille des particules de la section efficace  $\sigma_e$  multipliée par la concentration par unité de taille de particule  $d\rho(r)/dr$  [unités de particules.  $m^{-4}$ ],  $\rho(r)$  étant le nombre de particules par unité de volume [particules.  $m^{-3}$ ].

$$k_e(\lambda) = \int_{r_{min}}^{r_{max}} \sigma_e(\lambda, r) \left( \frac{d\rho(r)}{dr} \right) dr$$

L'atténuation est provoquée par deux types d'interaction entre la matière et la radiation soit l'absorption et la diffusion (figure 5). Lorsqu'il y a absorption, le photon (grain de lumière) est capturé par la particule pour être ultérieurement réémis sous une forme dégradée suite à divers processus thermiques. Lorsqu'il y a diffusion, la radiation est simplement déviée dans une autre direction. Si nous observons une source lumineuse à travers un milieu translucide, et que la lumière de la source est plus intense que la lumière diffuse ambiante, les deux phénomènes conduisent à une réduction de l'intensité de la lumière sortante ou atténuation.



**Fig2.4.2. Origine de l'atténuation de la radiation. Les petites sphères correspondent aux photons alors que les grandes sphères marron représentent les aérosols.**

La section efficace d'atténuation est simplement la somme de la section efficace de diffusion et de la section efficace d'absorption.

$$\sigma_e(\lambda, r) = \sigma_{sc}(\lambda, r) + \sigma_{ab}(\lambda, r)$$

## 2.5 Distribution verticale des aérosols

D'après Gras [1991], la distribution verticale de la concentration massique en aérosols montre habituellement une croissance exponentielle avec l'altitude jusqu'à une hauteur  $H_a$  et un profil de faible intensité et plus ou moins constant au-delà de cette altitude. Le profil de concentration massique en aérosols peut alors s'exprimer de la façon suivante :

$$PM(z) = PM(0) \exp^{\frac{-z}{H_a}}$$

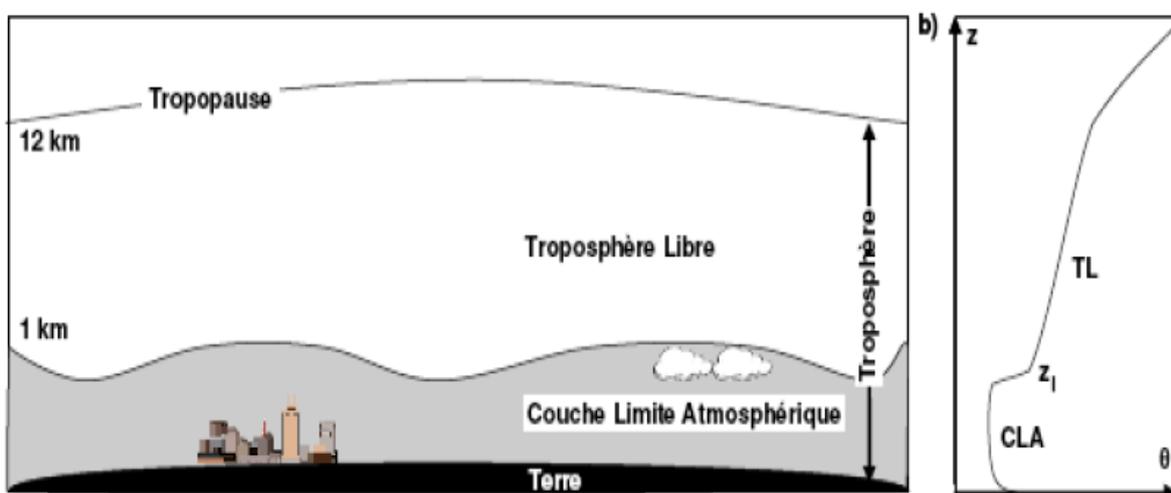
Avec  $PM(0)$ , concentration massique a la surface et  $H_a$ , échelle de hauteur ou se trouve la plupart des aérosols.

D'après Jaenicke [1993], il a été observé des valeurs de  $H_a$  égales a 900 m dans le cas de sels marins, 2000 m pour les aérosols désertique et 730 m dans le cas d'aérosols continentaux naturels (aérosols composés en majorité de particules primaires et de produits de l'oxydation d'ammonium et de sulfates qui forment le font atmosphérique sur lequel se superpose l'émission d'aérosols anthropiques) [Deepak and Gali, 1991 dans Seinfeld and Pandis, 1998].

Notons que l'intégration du profil de concentration massique sur la verticale entre le sol et une altitude infinie est égale au simple produit de  $PM(0)$  par la hauteur d'échelle  $H_a$

$$\int_0^{\infty} PM(z) dz = PM(0) \times H_a$$

Il est important de noter que cette distribution n'est qu'une simplification grossière. Rappelons que la hauteur  $H_a$  n'est décelable facilement que dans le cas de conditions climatique anticyclonique (hautes pressions) favorisant un mélange homogène des particules dans la couche limite. cette distribution verticale est en réalité, contredite dans le cas, très fréquent, de multiples couches d'aérosols dans la couche limite atmosphérique et/ou un transport de particules en altitude au-dessus de cette couche.



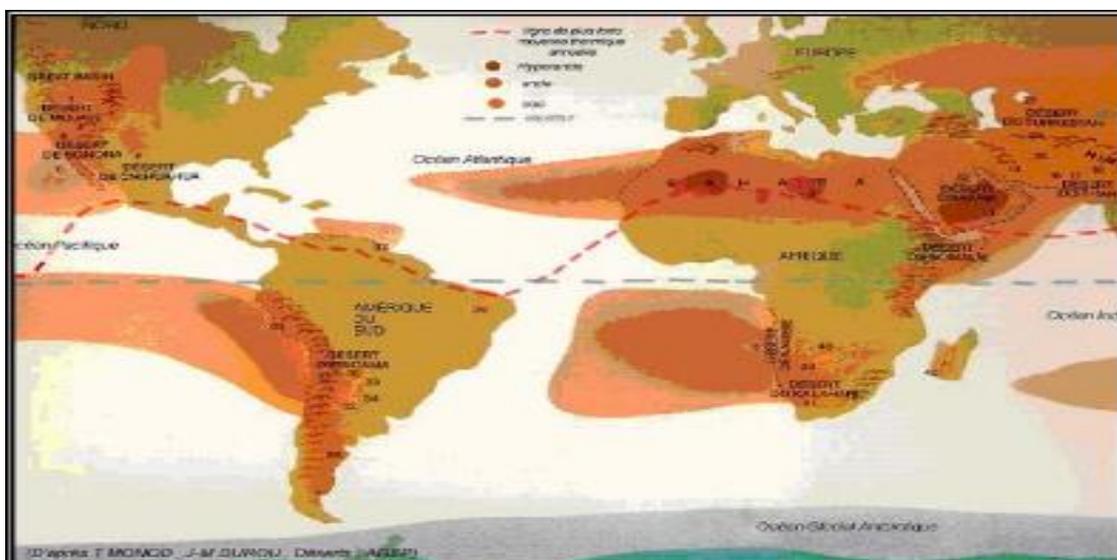
**Fig2.5 Schéma de la structure verticale de la troposphère : la zone grise définie la Couche Limite Atmosphérique et le reste la troposphère libre.**

## 2.6 Les aérosols désertiques

Les aérosols désertiques émis sous l'action du vent sont des aérosols relativement de grande taille (de 0.5 à 3  $\mu\text{m}$  de diamètre). Ce domaine de taille est suffisamment large pour permettre à la fois la rétrodiffusion des radiations solaires dans le visible et l'absorption des radiations terrestres dans l'infrarouge thermique. La rétrodiffusion du rayonnement solaire induit un refroidissement en diminuant le flux arrivant à la surface terrestre alors que l'absorption dans l'infrarouge provoque un réchauffement de l'atmosphère. Nous pouvons décomposer les cycles des aérosols en trois parties : la généralisation des poussières en zones sources, leur transport, leur retombée en zones puits. Le cycle de l'aérosol désertique est caractérisé par des régions sources relativement bien délimitées géographiquement, un transport à très grande échelle et des zones puits recouvrant globalement une surface très vaste et dont la localisation géographique est par conséquent assez mal définie. (Prospero et al. 1990) ont montré, en les mesurant aux Antilles, que ces aérosols pouvaient très bien traverser l'océan atlantique.

### 2.6.1 Zones sources

La figure 13 montre les sources principales d'émission de poussière, essentiellement les zones arides et semi-arides du globe ( Prospero, 1981 ; Péwé, 1981 ) ainsi que les axes principaux de leurs trajectoires de transport. Le désert du Sahara est reconnu pour être la plus importante source d'émission d'aérosols dans le monde.



**Fig2.6.1 Principales sources d'émission de poussières, axes principaux et distances de transport (d'après Péwé, 1981).**

Dans la plupart des régions désertiques, les poussières proviennent de sédiments et dépôts alluviaux que l'on trouve dans les dépressions, les bassins sédimentaires et les anciennes vallées (Legrand 1990 et Goudie 1978).

Sur un sol dépourvu de végétation, le vent, s'il est assez fort au niveau de la surface, fait rouler et parfois soulève légèrement les particules qui retombent sous l'effet de leur poids et rebondissent (Gillette, 1981). Ce sont les "chasse-sables". Les plus grosses particules, dont le rayon moyen est de l'ordre de 100  $\mu\text{m}$ , se désagrègent progressivement et augmentent ainsi l'érosion. Les fines poussières, dont le rayon moyen est de l'ordre de 10  $\mu\text{m}$ , sont injectées dans l'atmosphère en formant le plus souvent des tourbillons de poussières dont la dimension peut atteindre quelques décimètres de diamètre et plusieurs centaines de mètres de hauteur (Coudé-Gaussen et Rognon, 1983). Les particules « géantes » (rayon > 100  $\mu\text{m}$ ) retombent alors relativement rapidement par gravité, les autres seront déposées au cours de leur transport.

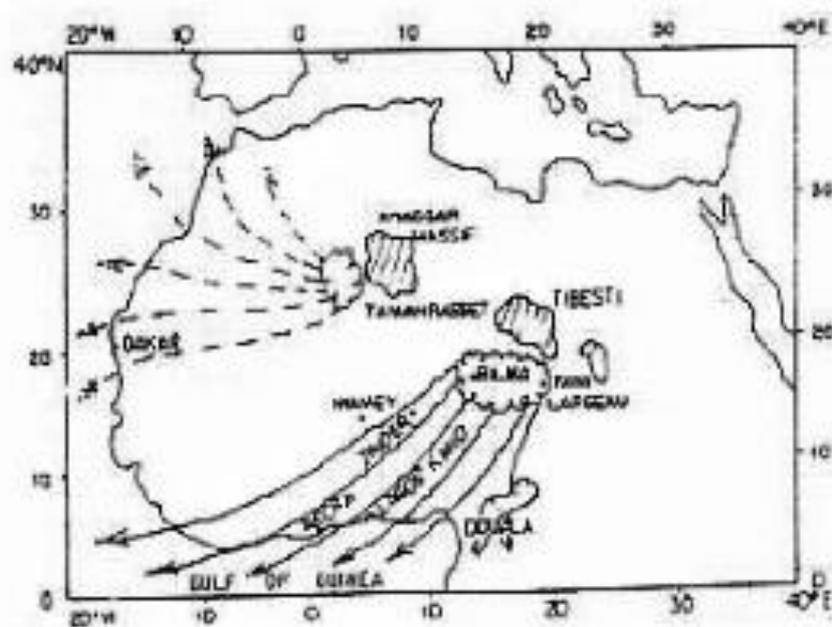
### 2.6.2 Transport

Au cours de leur déplacement, une fois en suspension, les poussières subissent une profonde homogénéisation. Suivant les courants aériens, elles sont aussi bien transportées vers l'est, le sud de l'Afrique, L'Europe que vers les Caraïbes. D'Almeida (1986) considère que 60% des poussières sont émises vers le golfe de Guinée, 28% vers l'Atlantique et 12% vers L'Europe.

Ces poussières se déplacent en fonction des grands courants de la circulation atmosphérique. Le plus connu est l'alizé continental ou l'harmattan qui souffle en permanence de l'Ethiopie vers L'Atlantique ou vers le golfe de Guinée. Une fois sur la côte Atlantique, L'air saharien s'élève au-dessus de l'air maritime et continue vers l'ouest entre 1500 et 3500 mètres d'altitude. C'est le Saharien Air Layer qui s'étend entre les latitudes de 15°N à 25°N. Les poussières mettent alors de 5 à 6 jours pour atteindre les côtes américaines (Prospero, 1981). Sur la figure 14, nous pouvons voir que ce déplacement varie suivant les saisons. Celui-ci dépend en fait de la situation météorologique qui règne sur l'Afrique. En hiver, la zone de convergence intertropicale (ZCIT) qui est une zone dépressionnaire aux environs de l'équateur, se positionne sur le golfe de Guinée et l'Harmattan souffle donc vers cette direction. L'été, la ZCIT remonte vers la latitude 20°N et l'anticyclone des Açores se positionne alors vers le sud ouest de l'Europe. Les zones sources qui sont alors activées sont celles proches du massif du Hoggar.

Lorsque ces poussières se déplacent vers l'Europe, ce qui est fréquent durant les mois d'été (Dulac et al, 1992) les trajectoires sont beaucoup moins prononcées et plus sporadiques. Elles dépendent du passage de dépressions cycloniques sur L'Europe (Coudé-Gaussen et al, 1987; Bergametti et al. 1989). Si le centre dépressionnaire se situe sur les côtes européennes de l'Atlantique nord, les poussières peuvent atteindre l'Espagne ou même la France. S'il s'agit du Sirocco, elles se dirigeront vers la Tunisie et l'Italie. Le Khamsin (vent du Sahara oriental) les entraînera vers le Soudan, l'Egypte ou le Sinaï (Yaalon et Ganor, 1977).

Peu d'études ont été faites sur le transport à l'intérieur même du Sahara, principalement à cause des difficultés matérielles à réaliser de telles observations (voir fig2.6.2).



*Fig2.6.2 Trajectoires des poussières sahariennes à l'intérieur du continent africain. D'après (Dulac et al.1992; Coudé-Gaussen et al., 1987; D'Almeida,1986; Bergametti et al., 1989).*

### 2.6.3 Zones de puits :

Les particules tombent en général par gravité lorsque la vitesse de vent diminue. Pour Lundholm (1979), les aérosols sont sources d'enrichissement des sols par la formation de löss et des océans par l'apport d'éléments nutritifs. L'importance de la sédimentation sur les fonds océaniques a d'ailleurs été soulignée par Griffin, (1968). Selon D'Almeida (1986), 75% de la poussière émise vers l'ouest contribue à leur formation.

Si l'étude du dépôt sur la Méditerranée commence juste à être documentée (Bergametti et al. 1989), le trajet transatlantique a été par contre très étudié.

Nous pouvons citer par exemple les travaux de Prospero et al. (1979) aux Antilles et aux îles du Cap Vert, Jaenicke et Schütz (1978) aux îles du Cap Vert, Delany et al. (1967), Prospero and Ness (1986) et Prospero (1990) aux Barbades, Coudé-Gaussen et al. (1987) ainsi que Bergametti et al. (1989) aux îles Canaries et surtout une expérience très intéressante en ce qui concerne les caractéristiques physique et chimique sur le navire allemand Meteor qui navigua des Caraïbes à 15°N aux côtes ouest africaines (Schütz, 1979).

La modélisation du transport et des retombées des poussières lors du trajet transocéanique a été réalisée entre autres par (Schütz et al. en 1981). Il démontre que si la plus grande partie des particules (de rayon  $>1\mu\text{m}$ ) tombe dans les 1000 premiers kilomètres, un peu moins de 20% font plus de 5000 km.

#### **2.6.4 Mouvement d'un grain de sable « reptation et saltation »**

Le vent en soufflant sur un lit de sable, est capable de mettre en mouvement certains grains. Il peut donc éroder la surface et influencer le relief. Réciproquement, si le relief de la dune est assez important, la structure de l'écoulement aérien peut être fortement modifiée.

Comment fait le vent pour déloger des grains de sable? Comment fait-il pour transporter des grains sur plusieurs centaines de kilomètres, pour ensuite les déposer? Simplement car comme tout fluide, l'air exerce une force sur les grains. Si elle est assez forte, elle peut dépasser le poids d'un grain et donc le soulever. Bien sur, tous les grains ne volent pas, et parfois le vent est seulement capable de les pousser sur le sol : ils roulent ou sautillent, c'est ce qu'on appelle le mouvement de Reptation ou traction. De tels grains sont aussi appelés reptons. Si le vent souffle assez fort, les reptons peuvent, à la faveur d'un choc contre un grain ou d'une fluctuation de vitesse du vent, être élevé un peu plus dans l'air. D'une dizaine de centimètres tout au plus. Là l'écoulement de l'air est plus rapide et le grain est accéléré par le vent. Cependant, la gravité jouant son rôle comme d'habitude, le grain n'a d'autre choix que de retomber sur le sol. Lors du choc, le grain rebondit et est capable de remonter assez pour être de nouveau accéléré et de continuer le même mouvement. C'est ce qu'on appelle la Saltation, les grains s'appelant alors des saltons (voir fig2.6.4).

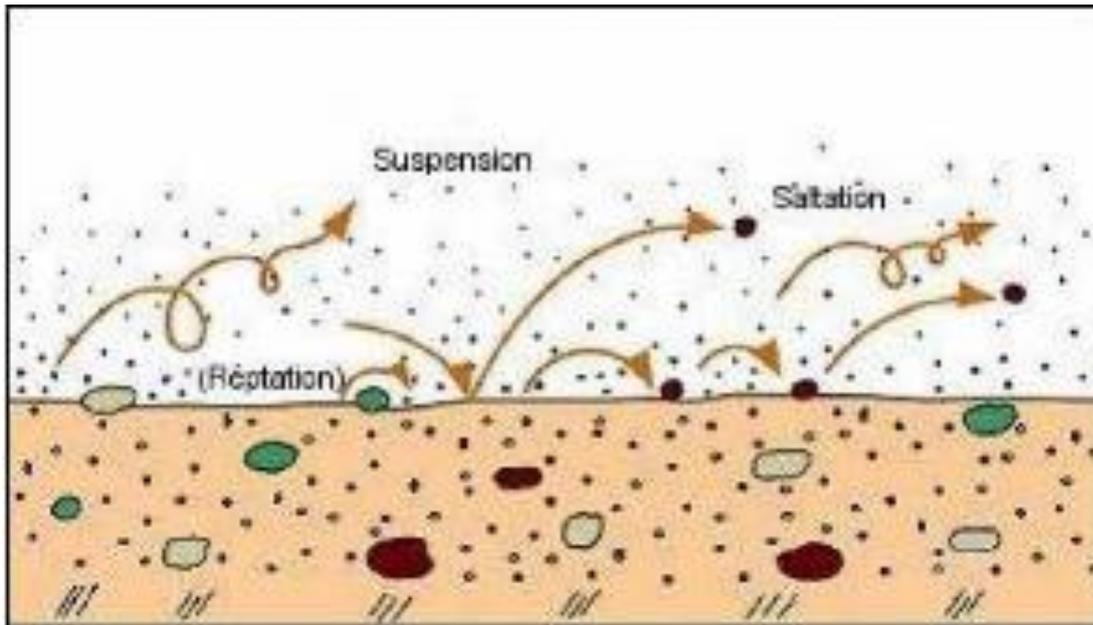


Fig2.6.4 Mouvement du sable.

### 2.6.5 Impacts

Nous nous intéressons aux aérosols d'origine désertique parce que l'érosion des sols, le transport et le dépôt de ces poussières ont des conséquences énormes sur l'homme et son environnement. Nous pouvons citer par exemple

- Le problème de la désertification dans les zones sources;
- La possibilité d'engendrer des modifications climatiques;
- L'enrichissement des zones puits;
- Les dégâts causés par les tempêtes de poussières sur la jeune végétation, le bétail ou les constructions;
- La contamination de l'eau potable et de la nourriture.
- La diminution de la visibilité et ses conséquences sur les moyens transports (Problème de transport aérien...);

# Chapitre 3 la visibilité

## CHAPITRE 3

### LA VISIBILITE

Les météorologistes évaluent la visibilité horizontale à chaque heure de la journée dans les stations principales. Les mesures de visibilité assurées ainsi en routine servent essentiellement aux besoins de la navigation aérienne, pour les phases critiques des vols; une visibilité faible peut amener le pilote a retardé son décollage ou de changé sa destination.

#### 3.1 Définitions

##### 3.1.1 Définition météorologique

- a) **La visibilité horizontale** définie par l'Organisation Météorologique Mondiale (WMO, 1992) comme étant la “ distance maximale à laquelle un observateur peut voir et identifier un objet situé à proximité du plan horizontal où il se trouve lui-même ”.
- b) **visibilité verticale** est la distance maximale à laquelle un observateur peut voir et identifier un objet sur la même verticale que lui.

##### 3.1.2 Définition aéronautique

###### 3.1.2.1 La visibilité

Correspond à la plus grande des deux valeurs suivantes :

a) la plus grande distance à laquelle on peut voir et reconnaître un objet noir de dimensions appropriées situé près du sol lorsqu'il est observé sur un fond lumineux ;

*b) la plus grande distance à laquelle on peut voir et identifier des feux d'une intensité voisine de 1 000 candelas lorsqu'ils sont observés sur un fond non éclairé.*

###### 3.1.2.2 Visibilité dominante

*Valeur de la visibilité la plus grande, observée conformément à la définition de « visibilité », qui est atteinte dans au moins la moitié du cercle d'horizon ou de l'aérodrome. Ces zones peuvent comprendre des secteurs contigus ou non contigus.*

###### 3.1.2.3 Portée visuelle de piste (RVR)

Distance jusqu'à laquelle le pilote d'un aéronef placé sur l'axe de la piste peut voir les marques ou les feux qui délimitent la piste ou qui balisent son axe.

### **3.1.2.4 Portée visuelle oblique (SVR)**

Portée visuelle d'un objet ou d'un feu donné le long d'une ligne de visée qui s'écarte sensiblement de l'horizontale ; par exemple, la portée visuelle des objets et des feux au sol vus d'un aéronef qui se trouve en approche.

### **3.1.2.5 Portée optique météorologique (POM)**

Longueur du trajet que doit effectuer dans l'atmosphère un faisceau de rayons lumineux parallèles, émanant d'une lampe à incandescence, à une température de couleur de 2700 K, pour que l'intensité du flux lumineux soit réduite à 0,05 fois sa valeur originale, le flux étant évalué au moyen de la fonction de luminosité photométrique de la Commission internationale de l'éclairage (CIE) (mètre [m] ou kilomètre [km]).

### **3.1.2.6 Coefficient d'extinction ( $\sigma$ )**

Proportion de flux lumineux qu'un faisceau de rayons lumineux parallèles émanant d'une source incandescente, à une température de couleur de 2700 K, perd en parcourant dans l'atmosphère une longueur égale à l'unité de distance (par mètre,  $m^{-1}$ ).

## **3.2 Phénomènes météorologiques qui réduisent la visibilité**

### **3.2.1 Lithométéores**

Météores consistant en un ensemble de particules dont la plupart sont solides et non aqueuses. Ces particules sont plus ou moins en suspension dans l'atmosphère, ou soulevées du sol par le vent.

#### **3.2.1.1 Brume de poussière**

Poussières 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 ».

La brume de poussière est mentionnée par l'observateur, lorsqu'un dépôt de poussière éolienne est visible au sol.



*Fig3.2.1.1 Brume de poussière*

### **3.2.1.2 Brume sèche**

il n'existe pas de définition précise pour ce type de lithométéore. La brume sèche possède cependant les mêmes caractéristiques que la brume de poussière, mais en est différente par l'absence de dépôt de poussière au sol.



*Fig3.2.1.2 brume sèche*

### **3.2.1.3 Chasse-sable**

Poussière ou sable soulevés par le vent au point d'observation ou à ses alentours au moment de l'observation, mais absence de tourbillon et pas de tempête de poussière ou de sable observée.

### 3.2.1.4 Tempête de sable

Tempête de poussière ou de sable observée au moment de l'observation en vue du point d'observation, ou à ce point pendant l'heure précédente.



*Fig3.2.1.4 Tempête de sable*

## 3.2.2 Hydrométéores

Les hydrométéores représentent la forme sous laquelle se présente l'eau sous forme solide ou liquide dans l'atmosphère.

### 3.2.2.1 Brouillard

Le brouillard est un phénomène qui obscurcit les couches inférieures de l'atmosphère et qui est causé par une suspension concentrée de gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace, à une humidité de l'air d'environ 100.

Le brouillard est signalé quand la visibilité est **inférieure à 1 000 m**.

### 3.2.2.2 Brume

La brume est un phénomène qui obscurcit l'atmosphère et qui est produite par des gouttelettes d'eau microscopiques en suspension ou par des particules microscopiques humides qui produisent généralement un voile grisâtre mince au-dessus du sol. Le diamètre des particules qui constituent la brume est généralement de l'ordre de quelques dizaines de micromètres.

La brume est signalée quand la visibilité est comprise **entre 1 000 et 5 000 m** lorsque l'humidité relative dépasse 90 %.

### 3.2.2.3 Précipitations :

Les **fortes** précipitations réduisent la visibilité.

### 3.3 Phénomènes courants qui réduisent la visibilité :

Phénomène météorologique	POM habituelle (m)
Tempête de sable	
Tempête de poussière	
Fumée	
Brume sèche	1000-5000
Brume	1000-5000
Brouillard	30-1000
Bruine	>1000
pluie	>1000
neige	>300
Chasse neige	>50

*Fig3.3 phénomènes courants réduisent la visibilité*

### 3.4 La mesure de la visibilité

Les deux principales techniques d'observation de la portée visuelle actuellement utilisées sont décrites ci-après. Dans ce contexte, on désigne par « *observation* » les mesures effectuées au moyen d'instruments ou l'observation visuelle de paramètres physiques.

### 3.4.1 Observation visuelle :

#### 3.4.1.1 Station météorologique

Pour chaque station d'observation, plusieurs objets ou relief sont sélectionnées à des distances différentes d'une dizaine de mètres à une dizaine de kilomètre par rapport d'une point connue, et a partir d'objets sélectionnés selon leurs caractéristiques géométriques et photométriques la visibilité est évaluer.

#### 3.4.1.2 Sur la piste

La RVR devrait théoriquement être évaluée à une hauteur de 5 m au-dessus de l'axe de piste et l'observateur devrait compter les feux à partir du seuil ou de la zone de toucher des roues.

La RVR est obtenue par un tableau de conversation.

<i>Nombre de feux de bord de piste visibles depuis le poste d'observation</i>	<i>RVR observée (en m)</i>	<i>RVR à signaler (en m)</i>
1	50	50
2	110	100
3	170	150
4	230	225
5	290	275
6	350	350
7	410	400
8	470	450
9	530	500
10	590	550
11	650	650
12	710	700
13	770	750
14	830	800

15	890	800
16	950	900
17	1010	1000
18	1070	1000
19	1130	1100
20	1190	1100
21	1250	1200

*Fig3.4.1.2 Exemple de table de conversion dans le cas où les feux de bord de piste sont séparés de 60 m et où le premier feu se trouve à 50 m de l'observateur. Les échelons de compte rendu sont ceux qui sont utilisés dans la Région Europe. Les valeurs minimales et maximales signalées sont respectivement 50 et 1 200 m.*

### 3.4.2 Observation au moyen d'instruments

Deux instruments sont couramment utilisés

#### 3.4.2.1 Transmissomètre

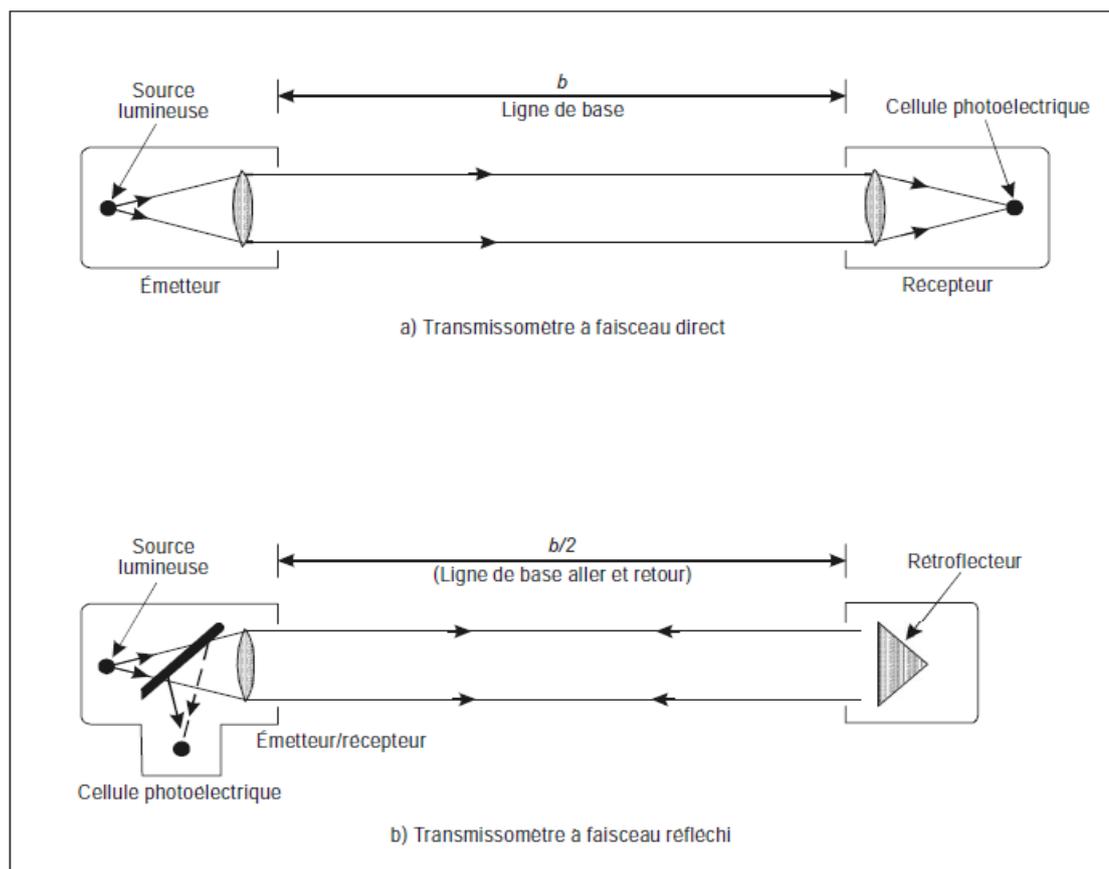
Utilisé sur les pistes, Le transmissomètre mesure directement l'atténuation d'un faisceau lumineux de référence qui se propage dans l'atmosphère entre un projecteur qui émet ce faisceau lumineux dans le spectre visible, et un récepteur qui mesure le flux lumineux résiduel. Cet appareil est, par son principe de mesure directe de la transmission atmosphérique, il fournit un moyen fiable d'évaluation de coefficient l'extinction quel que soit le type de phénomène météorologique qui réduit la visibilité : brouillard, pluie, neige, poussière, etc.



*Fig3.4.2.1-a Transmissomètre au bord de piste*

Deux types de transmissomètres qui sont le plus couramment employés :

Dans le premier type, parfois appelé transmissomètre « à faisceau direct », le faisceau lumineux est envoyé directement vers le récepteur. La longueur du parcours du faisceau entre l'émetteur et le récepteur est couramment appelée « ligne de base ». Dans le deuxième type, l'émetteur et le récepteur sont combinés en un seul instrument, et le faisceau est réfléchi par un prisme à réflexion totale (réflecteur) ; la longueur utile (ligne de base) du faisceau lumineux est donc égale au double de la distance entre l'émetteur et le réflecteur. C'est ce qu'on appelle un transmissomètre « à faisceau réfléchi ».



**Fig3.4.2.1-b Schémas de deux types de transmissomètres**

### 3.4.2.2 Diffusomètres

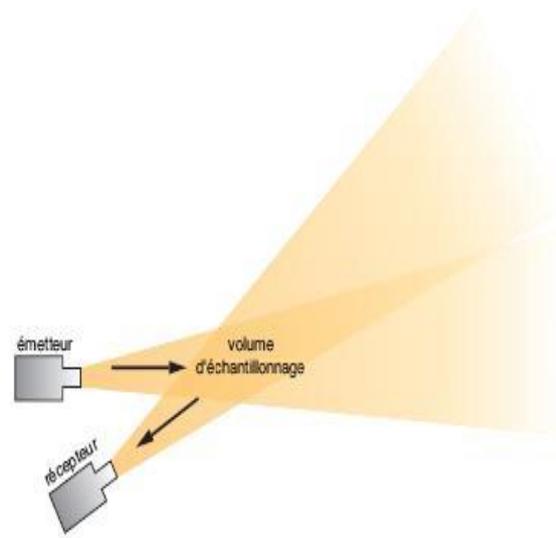
À la différence du transmissomètre, le diffusomètre à diffusion frontale mesure une petite portion de la lumière diffusée à l'extérieur d'un faisceau lumineux sur un nombre relativement limité d'angles de diffusion. Le diffusomètre utilise le principe de la diffusion arrière. Le faisceau lumineux est concentré sur un petit volume de mesure (quelque  $\text{dm}^3$ )

situé en avant du projecteur, et le récepteur, placé sous l'émetteur ou à côté de celui-ci, reçoit ensuite la lumière rétrodiffusée (réfléchi) par le volume examiné suivant un certain angle.

Cette technique permet l'intégration dans un même boîtier de l'émetteur et du récepteur et réduit les coûts du matériel. L'étalonnage de ce capteur est possible dans des conditions moins contraignantes que pour le transmissomètre. Les contraintes d'entretien sont également moindres.



*Fig3.4.2.2-a Diffusomètre*



*Fig3.4.2.2-b Principe d'un diffusomètre*

### 3.5 Méthodes de transmission et de compte rendu :

La visibilité est transmette sous les formats suivantes :

#### 3.5.1 Format texte

- **METAR** (METéo d'ARrivée) : l'observation d'aérodrome.
- **SPECI** (SPECIfique) : indique les variations brusques des observations.
- **TEND** (TENDances) : indique évolution notable entre deux observations.
- **TAF** (Terrain Arrival Forecast) : indique la prévisions pour les prochains 9 h
- **SIGMET** (SIGnificatif METéo) : indique les phénomènes dangereux aux vols.

A ce format, la visibilité est représentée comme suit :

- **VVVV** Pour indiqué la visibilité **dominante** en mètre (m).
- **9999** signifie 10 km ou plus.
- **CAVOK**

Lorsque les conditions ci-après existent simultanément au moment de l'observation :

a) visibilité indiquée dans le groupe VVVV est **supérieure ou égale à 10 km** et les critères d'inclusion de la visibilité minimale ne sont pas vérifiés.

b) absence de nuage sur une hauteur de 1 500 mètres (5 000 pieds) au-dessus de l'aérodrome ou absence de nuage sur une hauteur au-dessus de l'aérodrome correspondant à la différence entre l'altitude minimale de secteur le plus élevée et l'altitude de l'aérodrome lorsque cette hauteur est supérieure à 1 500 mètres et absence de Cumulonimbus et de Cumulus bourgeonnant.

c) absence de phénomène significatif pour l'aviation.

- **La RVR** : Dans le cas général ; la RVR est représenté comme suite :

**Rdd/VVVV**

**Ou :**

- ✓ **R** La désignation de la piste (**Ranway**)
- ✓ **dd** numéro de la piste
- ✓ **VVVV la visibilité en metre.**

La valeur maximal de la RVR a motionné est 1500m, et lorsque elle dépasse on note P1500. Cette valeur revient au **doc 4444** :

*« 7.14.1.3 Lorsque la visibilité au sol est au moins égale à 1 500 m, les vols VFR spéciaux peuvent être autorisés à pénétrer dans une zone de contrôle en vue d'atterrir,   décoller et sortir d'une zone de contrôle, à traverser une zone de contrôle ou à voler localement à l'intérieur d'une zone de contrôle. »*

### 3.5.2 Format carte

La visibilité peut être représenté sur plusieurs types de cartes. La carte la plus courante utilisé en aéronautique est **LA CARTE TEMSI** (TEMps SIgnificatif) qui donne aux pilotes les nuages et les phénomènes peuvent les rencontrés durent leur vols d'une façon plus détaillé. Sur ce type de carte, la visibilité est indiquée comme suit :

Indication	Valeur de la visibilité
V0	Visibilité entre 0 et 1.5 Km
V1.5	Visibilité entre 1.5 et 5 Km
V5	Visibilité entre 5 et 8 Km
V8	Visibilité supérieur a 8 Km

***Fig3.5.2 la visibilité sur la carte TEMSI***

# PARTIE B

# EXPLOITATION DES

# DONNEES ET

# RESULTATS

**CHAPITRE 4** outils et méthodes

**CHAPITRE 5** la prévision de la visibilité

**Note d'exploitation**

# Chapitre 4 outils et méthodes

## CHAPITRE 4

### OUTILS ET METHODES

#### 4.1 La prévision numérique du temps

##### 4.1.1 Généralité sur la prévision numérique du temps

La météorologie présente systématiquement les caractéristiques d'une science très jeune aux racines très anciennes. Présente aux quotidiens dans les préoccupations des hommes, et cela dès la plus haute antiquité, elle n'a pu trouver les voies de son expression rationnelle qu'à travers la haute conceptualisation de certaines grandeurs physiques permettant une observation météorologique quantifiée au sol, telles que la direction et la vitesse du vent, la pression atmosphérique, la température, l'humidité de l'air. Cette construction des outils météorologiques actuels a dû se prolonger du seizième au dix-huitième siècle, alors qu'il a fallu attendre le siècle suivant pour découvrir et entreprendre de résoudre trois problèmes préalables à tout passage à une météorologie pratique : l'obtention de données en altitude, l'élaboration d'une méthode de suivi des perturbations atmosphériques et la mise en place d'un réseau international et synchronisé d'observation et de transmission assurant ce suivi (des réseaux d'observation existaient depuis longtemps, mais à des fins climatologiques). Dès le premier quart du vingtième siècle, l'organisation d'un réseau mondial, les progrès des transmissions, l'invention du radiosondage ont mieux isolé un obstacle essentiel, à savoir, l'impossibilité de résoudre d'une façon rapide et réaliste le système d'équations destiné à prévoir l'évolution de l'atmosphère quand l'état de celle-ci est supposé connu à l'instant initial de la prévision.

Contourner l'obstacle précédent par des interprétations à la fois physiques et cartographiques a longtemps été le lot des prévisionnistes, jusqu'à ce que le développement des ordinateurs, dans la deuxième moitié du vingtième siècle, permit l'exploitation de modèles numériques de prévision, capable de calculer rapidement des solutions approchées de système d'équations météorologiques. Depuis lors, une osmose s'est établie entre la montée en puissance des ordinateurs et la sophistication toujours plus grande des modèles utilisés : pareille révolution informatique, qui ouvre des nouveaux domaines de prévision. S'accompagne d'une révolution technologique

fondée sur l'emploi des satellites météorologiques (dans l'observation et la télécommunication), mais aussi des radars météorologiques, des bouées, des stations automatiques, des instruments de télédétections, etc.

Et à mesure que ce bouleversement technique s'insère dans l'organisation mondiale de la veille. De l'expérimentation et de la coopération météorologique, il se répercute dans les médias et ne cesse d'amplifier la participation actuelle de la science météorologique à la vie économique, sociale et culturelle.

#### **4.1.2 Définition Modèle de prévision du temps**

Les modèles numériques sont des programmes informatiques qui modélisent l'évolution de l'atmosphère avec un maillage (spatial et temporel) plus ou moins grand, les données fournies par ces modèles permettent de prévoir le temps qu'il devrait faire pour les heures, jours ou semaines qui viennent.

On va citer quelques modèles utilisés à l'office national de la météorologie, et qu'on est besoins à notre travail :

#### **4.1.3 Le Modèle ETA**

En collaboration avec le World-laboratory, l'Office National de la météorologie (ONM) utilise depuis janvier 1999 le modèle domaine limité ETA/Algérie. C'est un modèle hydrostatique utilisant les équations primitives et est basé sur la coordonnée ETA ( $\eta$ ) définie par MESINGER (1984). L'utilisation de la coordonnée ( $\eta$ ) permet d'éviter les erreurs commises sur le calcul de gradient horizontal de la force de pression, ainsi que l'advection et la diffusion horizontale, comme c'est le cas avec la coordonnée sigma par exemple où les surfaces isobares présentent une certaine pente. Ce système de coordonnées rend les surfaces ( $\eta$ ) quasi-horizontales dans les domaines considérés. Aussi, ce modèle permet une meilleure représentation de relief, en particulier là où cette dernière est très accidentée. La topographie du modèle est représentée comme des pas discrètes dont les pics coïncident exactement avec l'une des interfaces des 24 niveaux du modèle (BLACK 1994). La détermination de la hauteur de l'interface de chaque niveau du modèle est basée sur la pression standard et la distribution de la résolution verticale. Les principales

variables pronostiques du modèle ETA sont : la température, l'humidité spécifique, les composantes horizontale du vent, la pression de surface et l'énergie cinétique (TKE). L'eau des nuages et la glace sont considérées comme des variables pronostiques.

Le système de coordonnées latitude/longitude (Lat/Lon) est obtenue grâce a une simple rotation de la grille géographique de façons ce que le centre du domaine considéré coïncide avec « l'équateur » et le méridien zéro degré. Dans notre cas, le centre du domaine est par 30 degrés de longitude. Ainsi, le modèle travail comme si l'équateur est au trentième parallèle. Cette manière de faire, permettre de minimiser la convergence des méridiens quand on se déplace du Sud vers le Nord dans le domaine d'intégration considéré et l'espacement entre les points de grille est plus uniforme. Chaque point de grille est un point de masse entouré par quatre points de vitesse du vent et chacun de ces points se situe sur des parallèles et méridiens dans le système de coordonnées (Lat/Lon) transformé.

### Coordonnée Hybride $\eta$ :

Cette coordonnée hybride permettre de cumuler les avantages de la coordonnée  $\sigma$  pour les niveaux inférieurs du modèle (écriture très simple de la condition à la limite inférieur de l'atmosphère) et ceux de la coordonnée pression pour les niveaux supérieurs.

Les surfaces  $\eta$  suivent le relief dans les basses couches et sont des surfaces pression vers le sommet.

$\eta$  est une fonction strictement croissante de la pression  $p_t$  de la pression au sol  $P_s$ .

$$\eta = \left( \frac{P - P_t}{P_s - P_t} \right) \times \eta_s \quad \text{Avec : } \eta_s = \frac{P_{\text{ref}(z_s)} - P_t}{P_{\text{ref}(0)} - P_t}$$

$P_t$  : pression au dernier niveau du modèle.

$P_{\text{ref}(z_s)}$  : pression de référence en fonction de  $z$  (BLACK 1994).

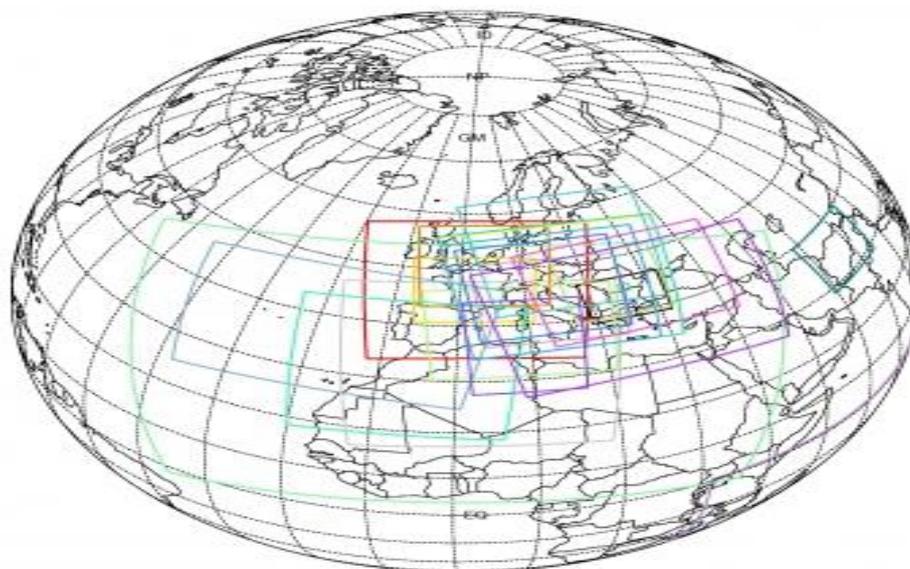
$S$  : désigne le sol.

#### 4.1.4 Le modèle ALADIN

Développé depuis le début des années 1990 par Météo-France et les services météorologiques nationaux de nombreux pays Européens et du Maghreb, **ALADIN** (Aire Limitée, Adaptation dynamique, Développement InterNational ) est un modèle de prévision numérique atmosphérique. Ce modèle à aire limitée, hydrostatique, est utilisé pour affiner localement les prévisions des modèles globaux. La discrétisation horizontale est spectrale et son schéma d'advection est semi-lagrangien. Pour calculer son état initial, il dispose de son propre schéma d'assimilation variationnelle (3D-Var), qui permet d'assimiler de nombreuses observations, d'origine conventionnelle ou satellitaire.

##### **Performance ALADIN:**

- Résolution actuelle 12 km
- Prévision orientée vers les échéances de 3 heures à 48 heures.
- 70 Niveaux verticaux.
- Domaine: carré de 2740 km de côté, centré sur le point de résolution maximale d'Arpège



**Fig4.1.4 Domaine ALADIN**

#### 4.1.5 Le modèle SURFEX

SURFEX (Surface Externalisée) est la plateforme de modélisation de surface développée par Météo-France, résultat de l'externalisation des paramétrisations physiques de surface, de la préparation des paramètres spécifiques de surface requis par ces schémas physiques ainsi que l'initialisation de leurs variables d'état. SURFEX, qui rassemble l'ensemble des développements et améliorations apportés aux schémas de surface afin de les rendre disponibles au plus grand nombre, est conçu pour être couplé à des modèles atmosphériques et hydrologiques.

A chaque pas de temps le modèle de surface est forcé par les champs atmosphériques suivants : la température, l'humidité spécifique, les composantes horizontales du vent, la pression, les précipitations totales, les rayonnements infrarouge et solaires direct et diffus et optionnellement les concentrations en espèces chimiques ou en poussière. Surfex, pour sa part, calcule les flux moyens de quantité de mouvement, de chaleur sensible, de chaleur latente et optionnellement les flux d'espèces chimiques ou de poussières puis transmet l'ensemble de ces variables à l'atmosphère de même que la température radiative de surface, les albédos de surface direct et diffus ainsi que l'émissivité de surface. Cette information est ensuite utilisée comme conditions à la limite inférieure par les schémas de rayonnement et de turbulence du modèle atmosphérique.

#### 4.1.6 Couplage ALADIN/SURFEX

Le couplage de la surface externalisée (SURFEX) au modèle ALADIN offre des avantages supplémentaires à ce modèle notamment dans les processus de surface. En plus de la précision, de la performance, du réalisme offert par le niveau de tiling et de schéma de paramétrisation utilisé. SURFEX permet au modèle ALADIN, par le biais du module DEAD (Dust Entrainment And Deposition), d'intégrer un nouveau processus de surface, en l'occurrence l'émission des aérosols désertiques.

## 4.2 Relations et corrélation

### 4.2.1 Corrélation entre épaisseur optique et visibilité

L'épaisseur optique mesure l'atténuation du rayonnement due aux aérosols. Au niveau du sol, les réductions de visibilités sont fonction de l'atténuation horizontale. Il existe de bonnes relations entre l'épaisseur optique et la visibilité horizontale relevée au sol.

Cette relation a été mise en évidence par de nombreux chercheurs. Dans ce paragraphe, nous présentons quelques résultats trouvés dans la bibliographie ; ou  $\beta$  présente l'épaisseur optique (sans unité),  $V$  la visibilité en Km, et  $r$  le coefficient de corrélation entre les deux.

**D'ALMEIDA** (1985) établit la relation suivante entre l'épaisseur optique d'aérosols et la visibilité horizontale  $V$  à l'Assekrem:

$$\beta = 2,26 v^{-0,73} \quad \dots\dots\dots(1) \quad 3,5\text{km} < v < 400\text{km} \quad r=0,96$$

**TRAORE KARIM** (1988) relie ces deux paramètres, à Niamey sur la période du 21/01/1985 au 15/04/1985, par l'expression:

$$\beta = 2,69 v^{-0,76} \quad \dots\dots\dots(2) \quad r=0,77$$

**BEN MOHAMED** (1988) a mesuré la visibilité horizontale et a établi la relation suivante entre épaisseur optique des aérosols et visibilité horizontale, en intégrant dans sa formulation la hauteur de la couche de mélange  $Z_i$  déterminée par la hauteur de la première inversion de température:

$$\tau_{a\lambda 1} = 1,37 \frac{Z_i}{v^{0,17}} \quad \dots\dots\dots(3) \quad r=0,92$$

$$\text{Vermot (2002)} \quad V = 3.9449 / (AOD_{550} - 0.08498) \dots\dots\dots(4)$$

#### 4.2.2 Corrélation entre épaisseur optique et visibilité via concentration

Sachant qu'il existe une relation entre la concentration massique et l'épaisseur optique, la visibilité peut être calculé en fonction de la concentration massique.

##### 4.2.2.1 Relation entre épaisseur optique et concentration massique

En peut Convertir une épaisseur optique en une concentration massique au sol grâce à la relation suivante :

$$M(0) = \frac{\tau_{ext}(\lambda)}{S_{ext}^{mass}(\lambda) \times H_a} \dots\dots\dots(5)$$

$M(0)$  la concentration massique à la surface ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$H_a$  l'échelle de hauteur ou se trouve la majorité des aérosols.

D'après **Jaenicke** [1993], la valeur de  $H_a$  égale à 2000 m pour les aérosols désertiques.

$S_{ext}^{mass}(\text{m}^{-2} \cdot \mu\text{g}^{-1})$  la section efficace d'extinction.

Type aérosol	$S_{ext}^{mass}$ (550nm)	
	12/06/97	13/06/97
<b>POM</b>	4,63E-06	3,85E-06
<b>WS</b>	3,10E-06	3,10E-06
<b>BC</b>	8,38E-06	9,70E-06
<b>SS</b>	4,90E-07	4,90E-07
<b>Dust</b>	4,00E-08	3,60E-08

*Fig4.2.2.1 Section massique d'extinction a 550 nm,  $S_{ext}^{mass}$  en  $\text{m}^{-2} \cdot \mu\text{g}^{-1}$ , a l'humidité ambiante le 12 et 13 juin 1997 au-dessus de thessaloniki d'après Ghazette et Liousse [2001].*

#### 4.2.2.2 Relation entre concentration et visibilité

Quelques études sur la relation entre visibilité horizontale et concentration en TSP

(Particules en suspension totales) ont été menées en Afrique de l'Ouest. **Bertrand** (1976) a étudié cette relation en se basant sur trois années de données (1973 à 1975) à Niamey (Eq. 1). Les visibilités horizontales utilisées pour établir cette relation s'étalent de 1,5 à 12 kilomètres. **Ette** et **Olorode** (1988) ont pour leur part utilisé des données récoltées à Ibadan (Nigeria) durant les mois de janvier et février 1979 (Eq. 2). Les auteurs se basent sur des visibilités horizontales variant entre 3 et 20 kilomètres pour établir leur relation. **Bayoko** et **Fongand** (1990) ont mis en relation visibilité horizontale et concentration en TSP sur base des données recueillies à Dakar, Sénégal, durant 1989 (Eq. 3); l'échantillon de visibilités horizontales s'étale de 300 mètres à 20 kilomètres. **Ben Mohamed** et son équipe (1992) ont utilisé les données de sept stations synoptiques au Niger durant 17 mois (Eq. 4). Ces auteurs considèrent tout le spectre des visibilités horizontales, à savoir de 100 mètres à 20 kilomètres.

Relation		Localisation	Auteurs
$C = 1897 VV^{-0,91}$	(1)	Niamey (Niger)	Bertrand, 1976
$C = 1600 VV^{-0,62}$	(2)	Ibadan (Nigeria)	Ette et Olorode, 1988
$C = 1500 VV^{-1}$	(3)	Dakar (Sénégal)	Bayoko et Fongang, 1990
$C = 1339.84 VV^{-0,67}$	(4)	7 stations (Niger)	Ben Mohamed <i>et al.</i> , 1992

**Fig4.2.2.2 Relations entre visibilité (VV) en Km et concentration massique(C) en ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).**

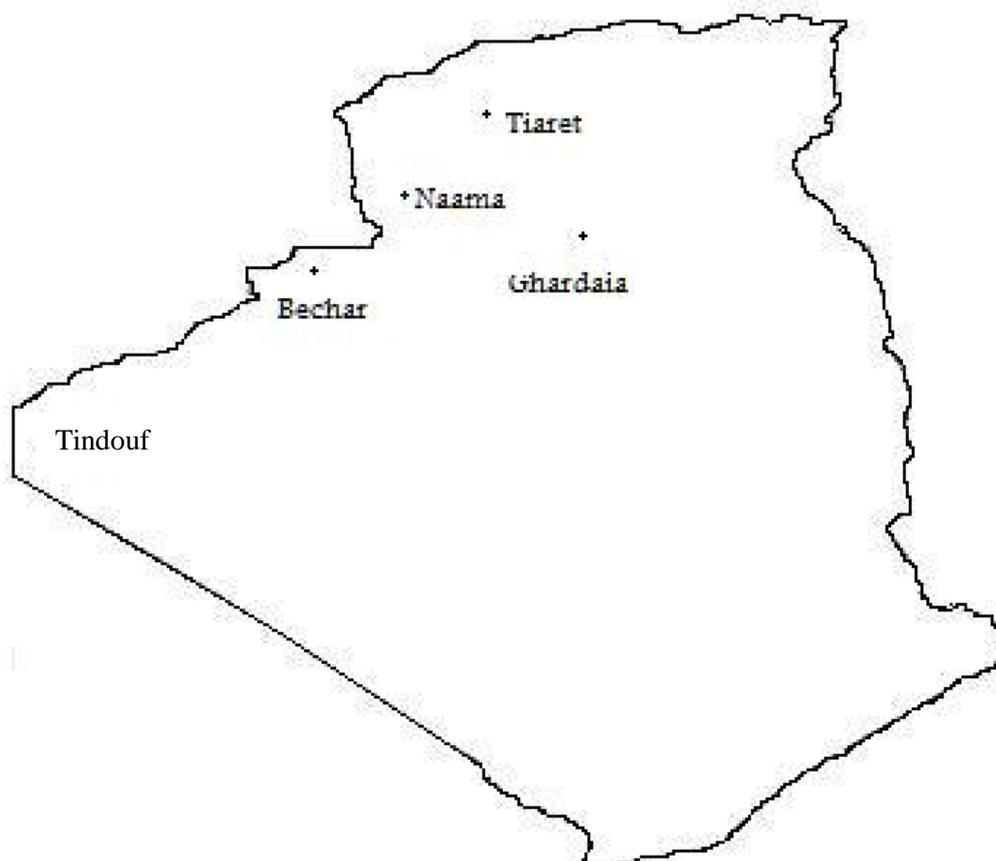
### 4.3 Les données utilisées

#### 4.3.1 Présentation de la zone d'étude

La zone à étudier est la Sahara Algérien qui représente près de 85% de la superficie du pays. Cette zone est le siège des soulèvements de sable liés à la dépression saharienne (thermique). Pour notre étude cinq (05) stations du réseau ont été choisies,

site	latitude	longitude	nature
Bechar	31.62 N	2.23 W	Zone source
Ghardaïa	32.38 N	3.82 E	Zone de puits
Tiaret	35.25 N	1.43 E	Zone de puits
Tindouf	27.67 N	8.13 W	Zone source
Naama	33.27 N	0.3 W	Zone de puits

*Fig4.3.1-A Coordonnées des stations utilisées*



*Fig4.3.1-B les cinq(5) stations utilisées*

### 4.3.2 Les données des visibilitées observées

Nous avons utilisés les visibilitées observées sur les 5 stations (Bechar, Ghardaïa, Tindouf, Tiaret, et Naama) durant l'année 2006 pour les jours ou l'un des phénomènes de sable existe (Brume, chasse sable, tempête de sable). Les observations sont effectuées par un intervalle de temps de 3 heures (00h, 03 h, 06h, 09h, 12h, 15h, 18h, et 21h), les visibilitées observées allons de 100 m a 20 Km.

### 4.3.3 Les données des épaisseurs optiques prévues

Le deuxième type de données utilisées ; les épaisseurs optiques prévues par le modèle de prévisions Aladin /Surfex durant l'année 2006 sur les 5 stations cités au paravent.

Les épaisseurs optique prévues sont données par le modèle ALADIN Franc chaque 3 heures du jour : 00h, 03 h, 06h, 09h, 12h, 15h, 18h, et 21h, chaque fichier de forme texte contient les prévisions des épaisseurs optiques de l'heure considéré ; de toutes les pointes constituent la grille du modèle.

Donc; il a fallu adapter une fonction de passage entre l'AOD et la visibilité.

A cette fin ; nous avons construire un programme qui nous permettre l'extraction des stations selon leur coordonnées géographiques (latitude, longitude), la description du programme et dans le titre suivant.

## 4.4 Programmation, description et présentation Algorithmique

On a utilisé le langage **FOR-TRAN90** comme un outil de programmation car il est simple à utiliser et plus pratique pour les calculs scientifiques et comme les modèles de prévision numérique du temps applique ce langage on a préféré de le choisir dans notre études qui suit.

### 4.4.1 La structure du programme

La structure globale du programme est divisée en quatre blocs, chaque un de ces blocs à une relation directe avec les autres trois blocs.

#### 4.4.1.1 Premier bloc (DECLARATION)

Ce bloc présente la partie initiale qu'est utilisée pour réserver les mémoires physiques dans le système par la déclaration des différents paramètres comme suit :

##### a) Déclaration des paramètres constants « PARAMETER »

On a utilisé les constantes dans notre programme pour donner des valeurs fixe qui ne change pas au cours d'exécution du programme, ces paramètres sont :

- $KNI=76500$  : utilisé dans la lecture des données d'entrées **(INPUT DATA)**.

$KNI=IM*JM$  ; (nombre de points selon les axes des x et des y)

- $IDF=76500$  : le nombre des lignes dans chaque fichier d'entrée **(INPUT FILES)**.

- $NECH=16$  : Le nombre d'échéances pour deux jours, dans le programme NECH présente la condition d'arrêt de la boucle **(DOWHILE 4)**.

##### b) Déclaration des paramètres variables

On a utilisé ces variables pour déclarer des paramètres qui sont varié au cours d'exécution du programme selon les besoins des différentes boucles, on a plusieurs types des variables :

**b.1) Les entiers « INTEGER »**

- *IYEAR (2006-2010), IMONTH // JMONTH (1-12), IDAY // JDAY (1-31,2)* : sont des compteurs utilisés dans les boucles **(DO 1)**, **(DO 2)**, **(DO 3)** pour spécifier l'adresse des fichiers INPUT.

- *IECH // JECH* : présente l'échéance.

**b.2) Les tableaux « DIMENSION »**

- *PLAT01 (KNI), PLON01 (KNI), PFIELD01 (KNI)*: présente les coordonnées géographiques et les valeurs de l'AOD.

- *ZFIELD (NECH)* : utilisé dans la boucle **(DO 6)**, présente l'AOD d'une échéance.

**b.3) Les chaînes de caractères « CHARACTER »**

- *CARDAY // JARDAY, CARECH // JARECH, CARYEAR, CARMONTH*: utilisés pour afficher les variables numériques IDAY, IMONTH, IECH et IYEAR sous une forme caractère.

- *CONTNAME01* : le fichier INPUT.

- *YFILE\_FORCING\_IN* : le fichier OUTPUT.

**b.4) Les variables logiques « LOGICAL »**

- *EXISTE* : utilisé pour vérifier l'existence du fichier d'entrée *.TRUE. OR .FALSE.*

**4.4.1.2 Deuxième bloc (SPECIFIE L'ADRESSE DES FICHIERS INPUT)**

Ce bloc présente la partie principale du programme, toutes les instructions seront exécutées dans cette partie.

**a) La boucle (DO 1)**

Présente le compteur annuel du programme qui varie entre 2006 et 2010.

**b) La boucle (DO 2)**

Présente le compteur mensuel du programme qui varie entre 1 et 12.

**c) La boucle (DO 3)**

Présente le compteur bi-journalier du programme qui varie entre 1 et 31 avec un pas de 2.

**d) La boucle (DOWHILE 4)**

Présente le compteur horaire du programme sous forme caractère.

Dans cette boucle on trouve les deux autres blocs du programme pour lire les données à partir des fichiers INPUT et transféré les valeurs qui on a besoin vers les fichiers OUTPUT.

Donc on va montrer chaque bloc particulièrement comme suit :

**4.4.1.3 Troisième bloc (LECTURE LES DONNEES D'ENTREE)**

Après l'initialisation des compteurs des boucles (DO 1), (DO 2), (DO 3) et (DOWHILE 4), le programme les écrive en forme caractère pour les utilisé à la spécification de l'adresse du fichier INPUT surnommé **CONTNAME01**, cette adresse s'écrite comme suit :

**CONTNAME01='data/input/l'année/le mois/aod\_le mois\_le jour\_l'heure'**

Mais le problème qui se pose c'est que ce fichier INPUT n'existe pas toujours, donc le programme fait un test d'existence par l'instruction logique IF [EXIST] THEN ; deux cas possible :

- Le cas où le fichier n'existe pas :

Le programme remonte vers le deuxième bloc, âcrement les compteurs et refaire le teste d'existence.

- Le cas où le fichier existe :

Le programme continue d'une façon normale la lecture des données d'entrée par la boucle (DO 5) qui lire le fichier ligne par ligne (chaque ligne

contient trois paramètres ; LATITUDE, LONGITUDE ET l'AOD, après ; une autre boucle (DO 6) qui a pour objet l'extraction de paramètre AOD unique correspond au coordonnées de la station concernée.

#### **4.4.1.4 Quatrième bloc (TRAITEMENT DES DONNEES ET AFFICHAGE DES RESULTATS)**

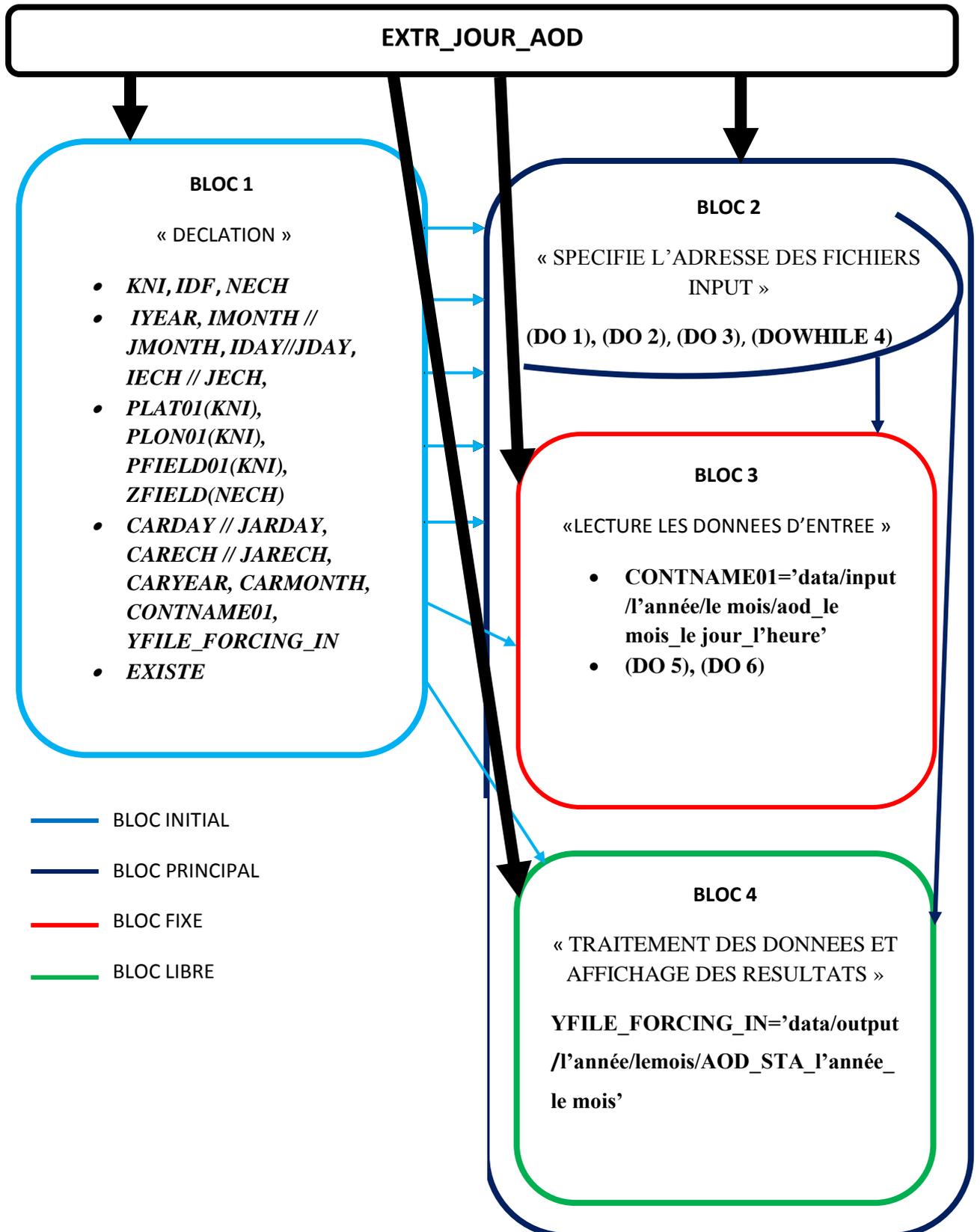
Après l'extraction de paramètre AOD correspond aux coordonnées de la station concernée, le programme transfère la valeur d'AOD vers un fichier OUTPUT qui prend le nom **YFILE\_FORCING\_IN** à l'adresse correspond à l'année, le mois et le jour de la valeur. L'adresse notée écrit dans le programme sous forme :

**YFILE\_FORCING\_IN='data/output/l'année/lmois/AOD\_STA\_l'année\_lmois'**

Remarque : ce bloc est libre c'est à dire on peut ajouter ou supprimer des informations selon le besoin.

#### **4.4.2 Schéma descriptif du programme**

On interprète les étapes ci-dessus par le schéma représentatif équivalent suivant:



*Fig4.4.2 Schéma descriptif du programme*

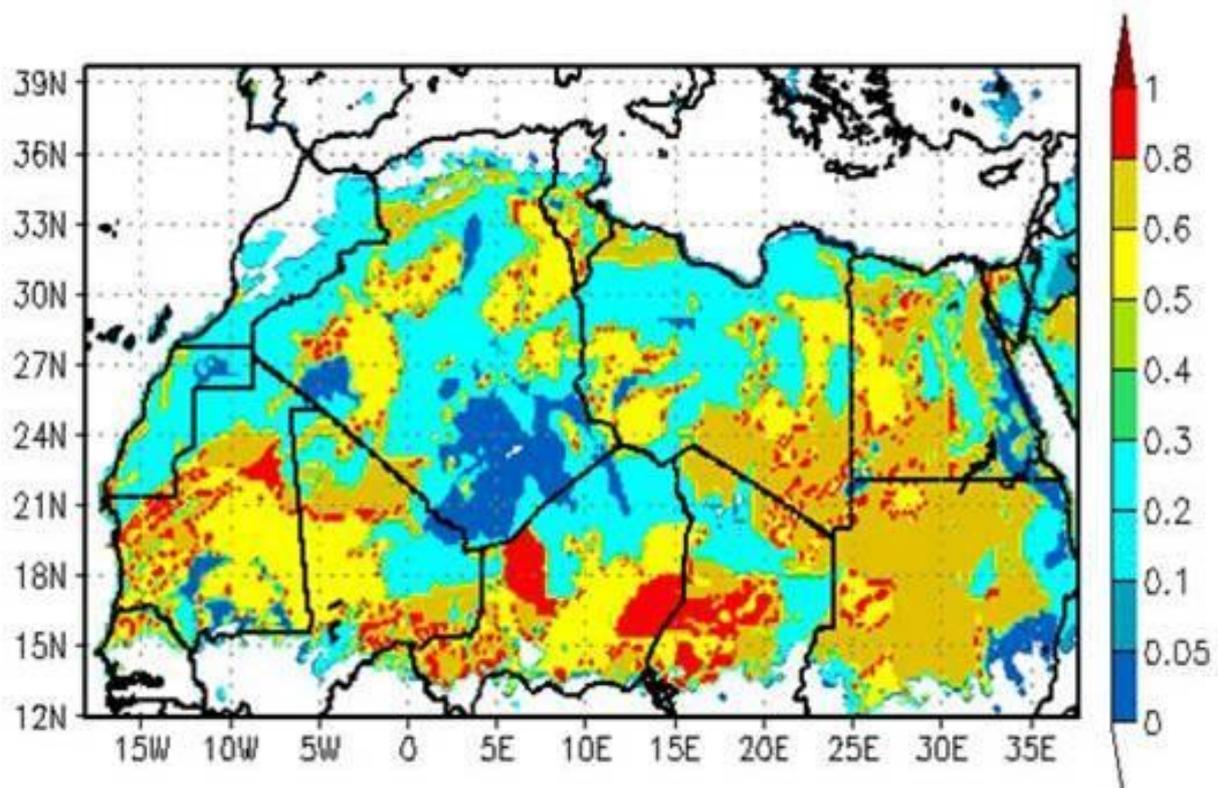
# Chapitre 5 la prévision de la visibilité

## CHAPITRE 5

### PREVISION DE VISIBILITE

#### 5.1 Choix des sites

Dans la suite du travail, il a fallu choisir un échantillon de données, pour ça ; on choisit deux stations ; Bechar et Tindouf, cette choix est justifié que ces deux stations sont des **zones sources** du phénomène de sable. La figure ci-dessus présente les zones source du sable dans le Nord de l'Afrique :



*Fig5.1 Carte des zones sources du sable*

#### 5.2 Le passage de l'épaisseur optique à la visibilité

##### 5.2.1 Le passage de l'épaisseur optique à la visibilité via la concentration

Le but générale de ce travail est de trouvé une relation permettre la prévision de la visibilité d'après les valeurs d'épaisseurs optique prévus par le modèle ALADIN. au début de travail on a pensées qu'il est plus pratique de transformé l'épaisseur optique en paramètre

concentration massique car ; ce paramètre est couramment utilisé, et plus simple à comprendre par les gens que l'AOD, puis trouvé un lien entre la concentration massique et la visibilité.

Pour cette première étape (de l'AOD a la concentration) on a transformé l'épaisseur optique en concentration massique par la relation (5) sous 4.2.2.1, puis remplacer les résultantes des concentrations obtenues dans chacune des relations qui relient la concentration a la visibilité.

$$\text{AOD prévus} \longrightarrow C = \frac{\tau_{ext}(\lambda)}{S_{ext}^{mass}(\lambda) \times H_a}$$

$$\begin{aligned} & \longrightarrow C = 1897 \text{ } VV^{-0.91} \longrightarrow \text{Visibilité prévus} \\ & \longrightarrow C = 1600 \text{ } VV^{-0.62} \longrightarrow \text{Visibilité prévus} \\ & \longrightarrow C = 1500 \text{ } VV^{-1} \longrightarrow \text{Visibilité prévus} \\ & \longrightarrow C = 1339.84 \text{ } VV^{-0.67} \longrightarrow \text{Visibilité prévus} \end{aligned}$$

Toutes les valeurs des visibilités prévues obtenues par cette méthode sont très différentes à celles observés par les stations météorologiques. Donc il a fallu trouver une autre méthode.

### 5.2.2 Le passage direct de l'épaisseur optique a la visibilité

Dans cette deuxième partie, on cherche à passer directement de l'épaisseur optique prévue à la visibilité prévue. Nous avons utilisées les quatre relations (1, 2, 3, 4) sous 4.2. .

Les relations 1, 2, 3 donne des valeurs de visibilité prévue n'assemblent pas à la réalité.

Alors que les visibilités obtenues par la relation (4)

$$V=3,9449/(AOD-0,08498)$$

Sont très proche des visibilités observés par les stations météorologiques. Alors nous avons appliqué cette relation sur toutes les épaisseurs optiques prévues sur les deux terrains (Bechar et Tindouf).

Les résultats obtenus sont présentés trimestriellement par les graphes suivants :

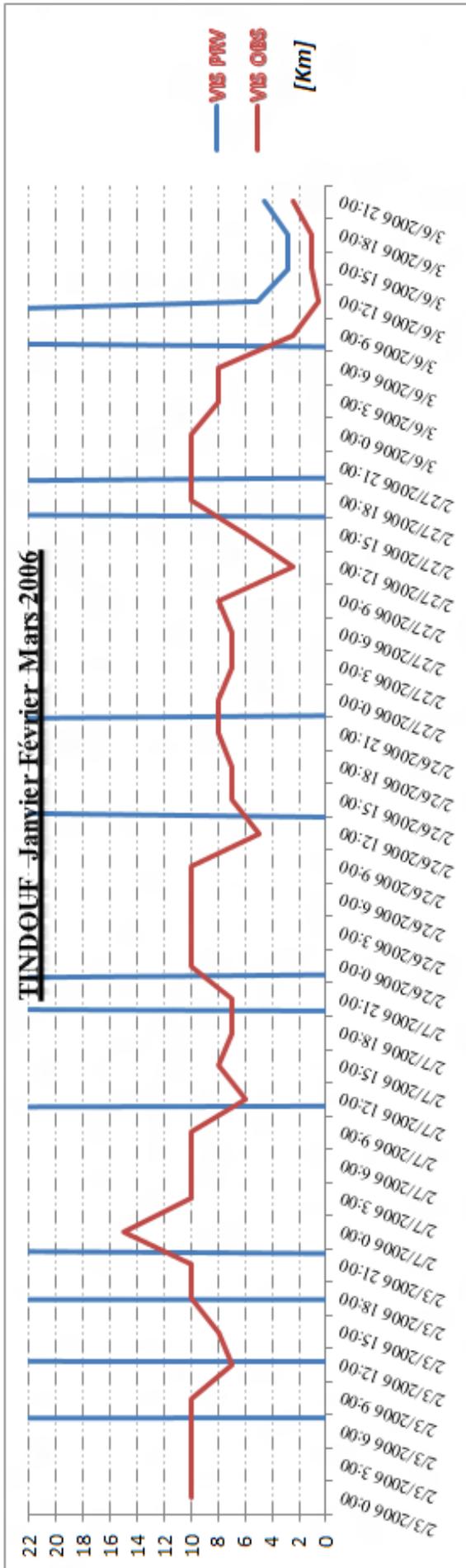


Fig5.2.2-A Variation des visibilités prévues et observées pour la station de TINDOUF durant la période Janvier-Février-Mars de l'année 2006

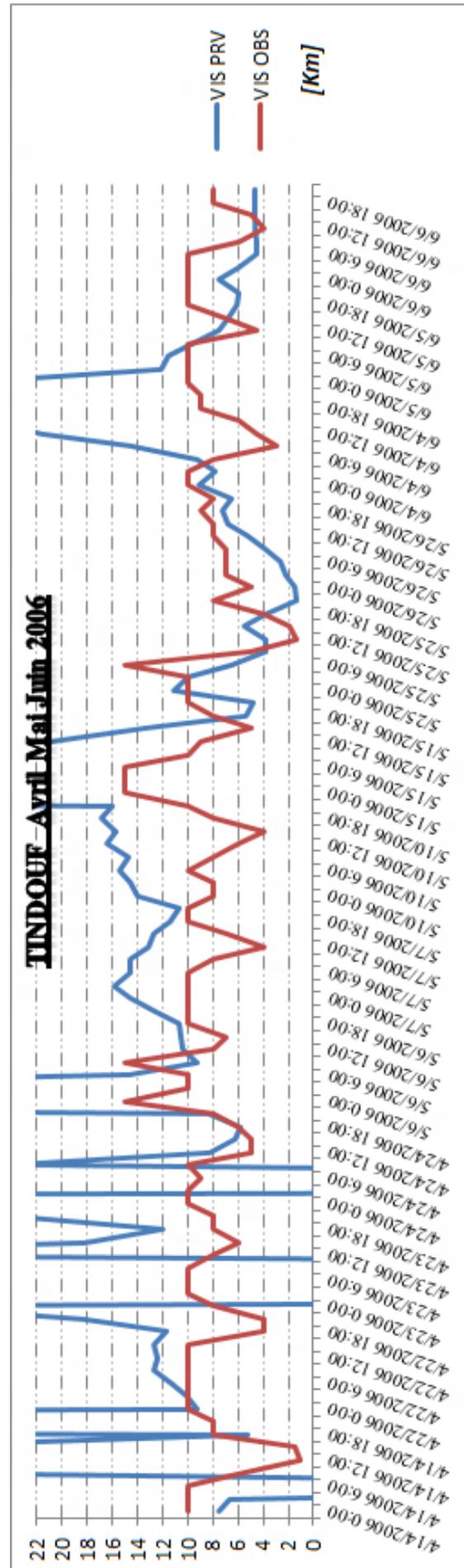


Fig5.2.2-B Variation des visibilités prévues et observées pour la station de TINDOUF durant la période Avril-Mai-Juin de l'année 2006

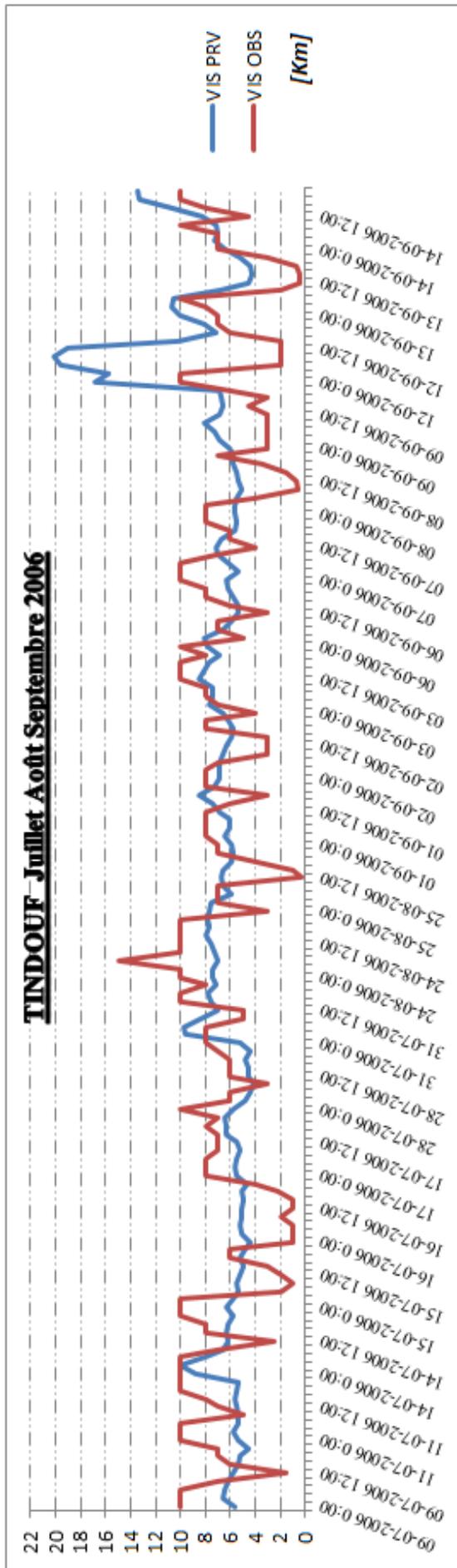


Fig.5.2.2-C Variation des visibilités prévues et observées pour la station de TINDOUF durant la période Juillet-Août-Septembre de l'année 2006

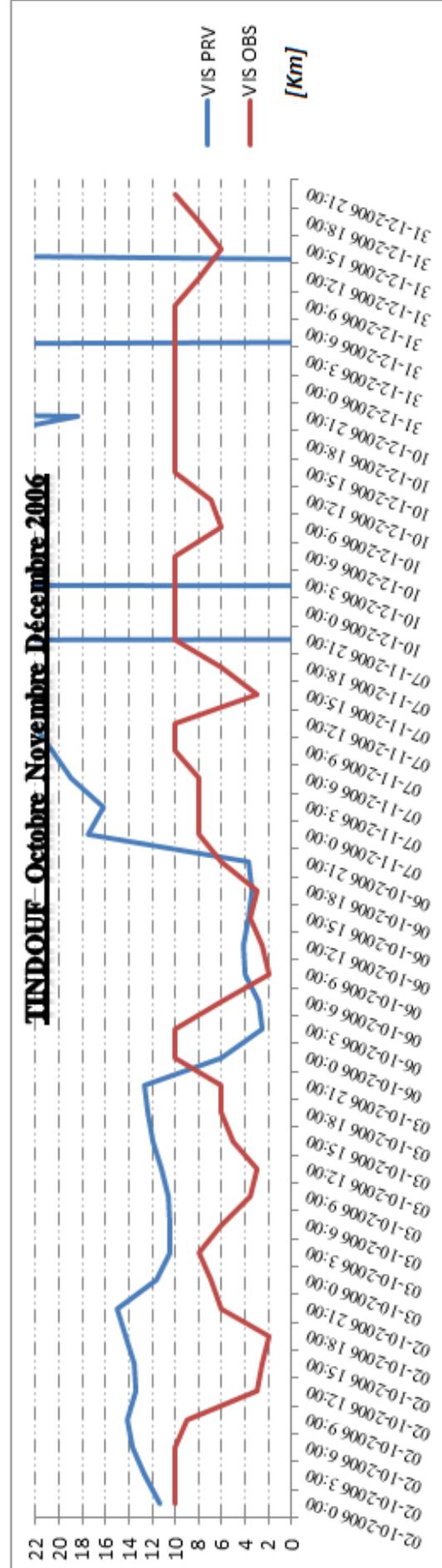


Fig.5.2.2-D Variation des visibilités prévues et observées pour la station de TINDOUF durant la période Octobre-Novembre-Décembre de l'année 2006

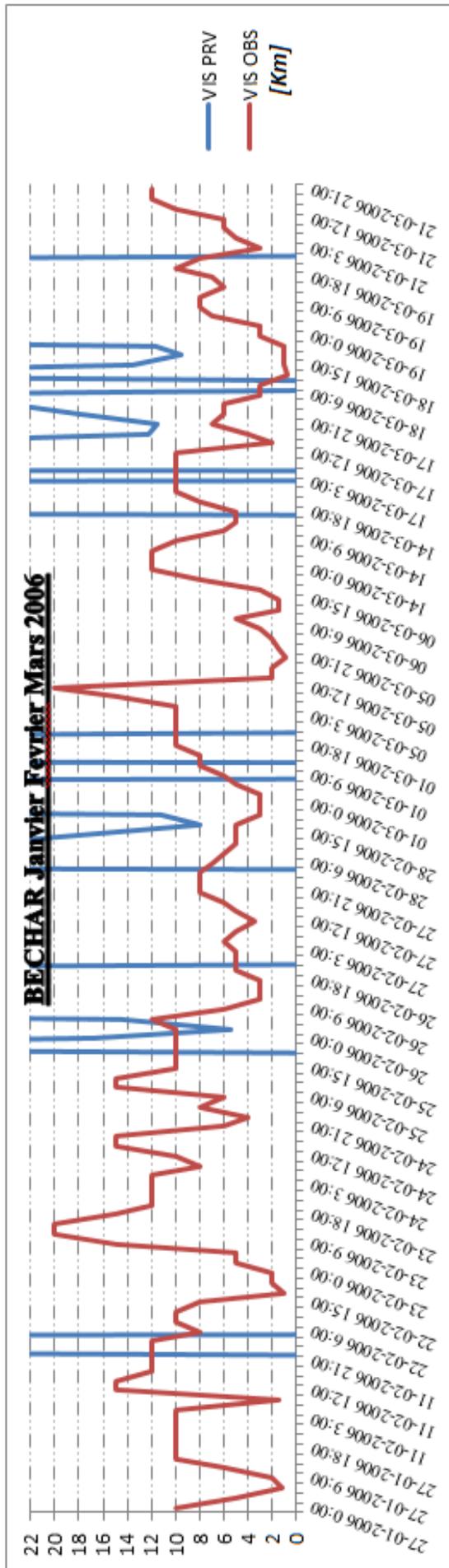


Fig5.2.2-E Variation des visibilités prévues et observées pour la station de BECHAR durant la période Janvier-Février-Mars de l'année 2006

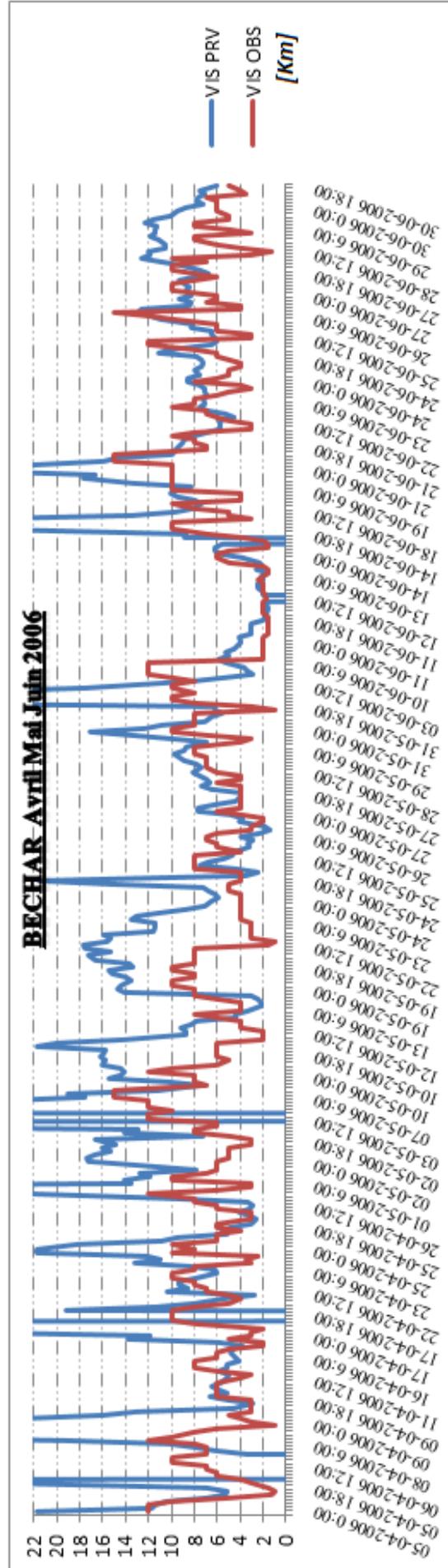


Fig5.2.2-F Variation des visibilités prévues et observées pour la station de BECHAR durant la période Avril-Mai-Juin de l'année 2006

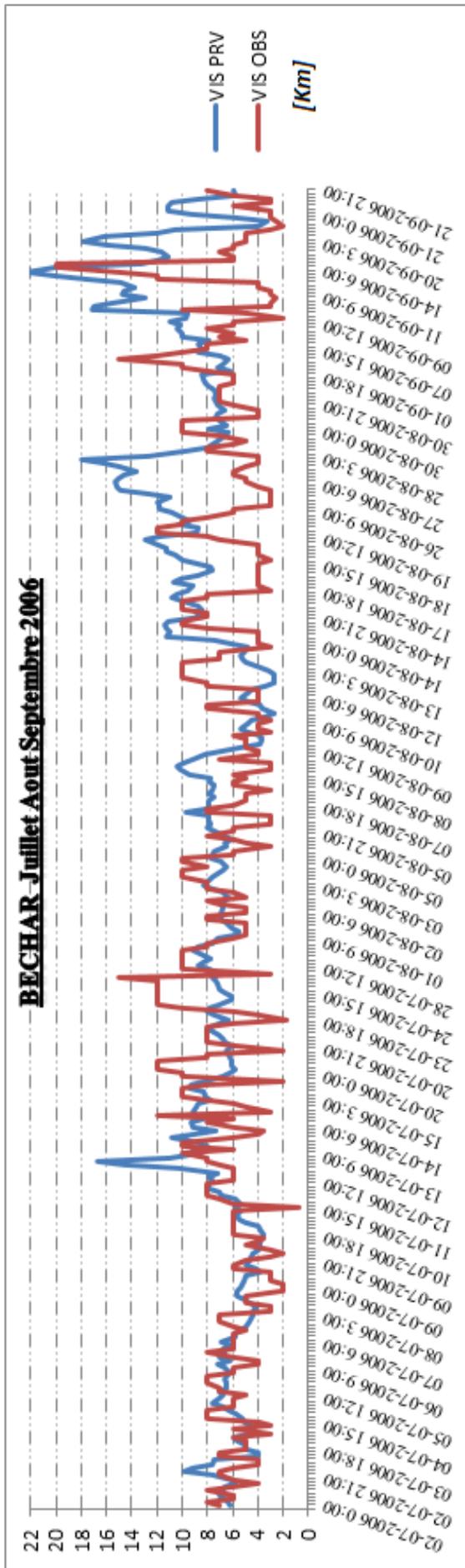


Fig5.2.2-G Variation des visibilités prévues et observées pour la station de BECHAR durant la période Juillet-Août-Septembre de L'année 2006

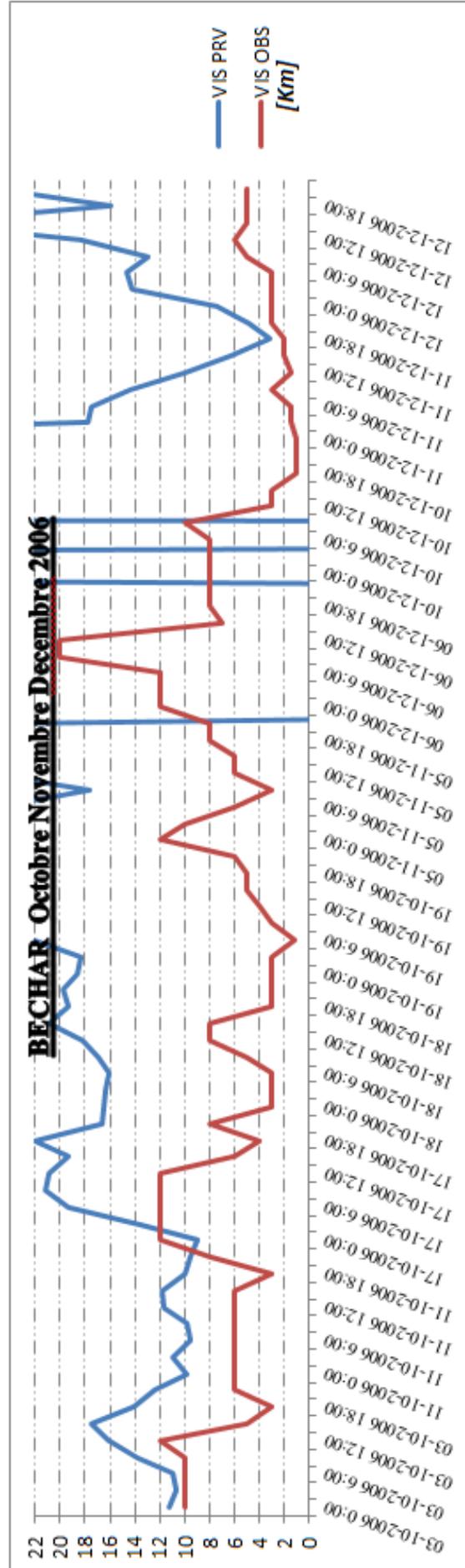


Fig5.2.2-H Variation des visibilités prévues et observées pour la station de BECHAR durant la période Octobre-Novembre-Décembre de L'année 2006

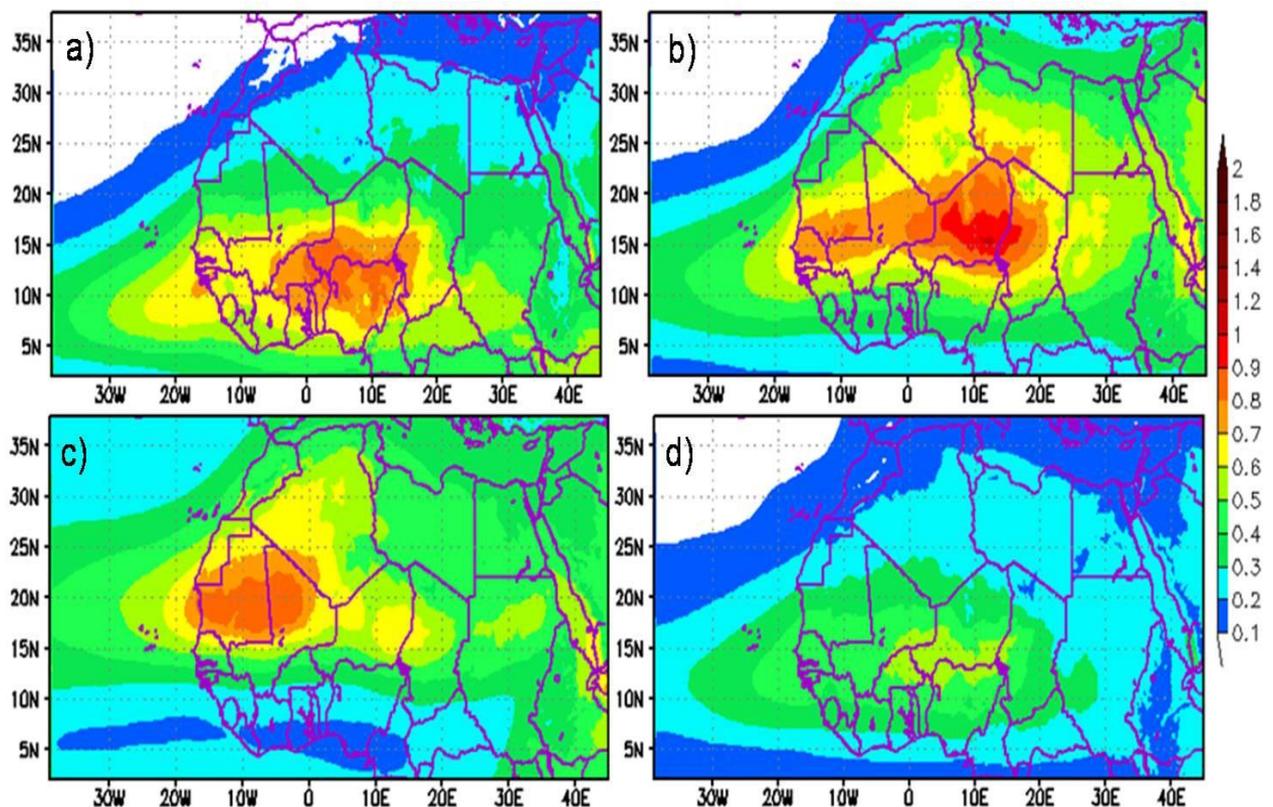
Une première lecture des graphes montre que :

- Pour les mois Mai, Juin, Juillet, Aout, Septembre, et Octobre, nous avons des très bons résultats des visibilités prévues par rapport à celles observé.

- pour le reste des mois de l'année (Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, et Avril) les visibilités prévues sont fausse et les valeurs de visibilité prévue se divergent.

- les bons résultats des visibilités prévues sont pour des AOD supérieur à 0.4.

Les résultats obtenus peuvent être justifié par la climatologie simulée par ALADIN des AOD pour la période 2006-2010.



*Fig5.2.2 climatologie simulé par ALADIN des AOD pour les quatre trimestres période 2006-2010*

- a) *Trimestre Janvier-Février-Mars.*
- b) *Trimestre Avril-Mai-Juin.*
- c) *Trimestre Juliette-Aout-Septembre.*
- d) *Trimestre Octobre-Novembre-Décembre.*

On remarque que pour le premier et le quatrième semestre, les valeurs d'AOD sont petites ne dépasse pas 0.4, et le modèle diverges et donne des faux résultats des visibilités prévus.

Pour le deuxième et le troisième, les valeurs d'AOD sont plus grandes, et le modèle donne des bons résultats.

Donc, on va affiner les résultats obtenus :

- on va prendre que les 6 mois (de Mai à Octobre).
- on va limiter les visibilités prévues à 10 Km, qui correspondre par notre formule

$$(V=3.9449/ (AOD_{550} -0.08498) \text{ a } AOD =0.47947.$$

Les résultats obtenus sont représenté par les graphes suivants :

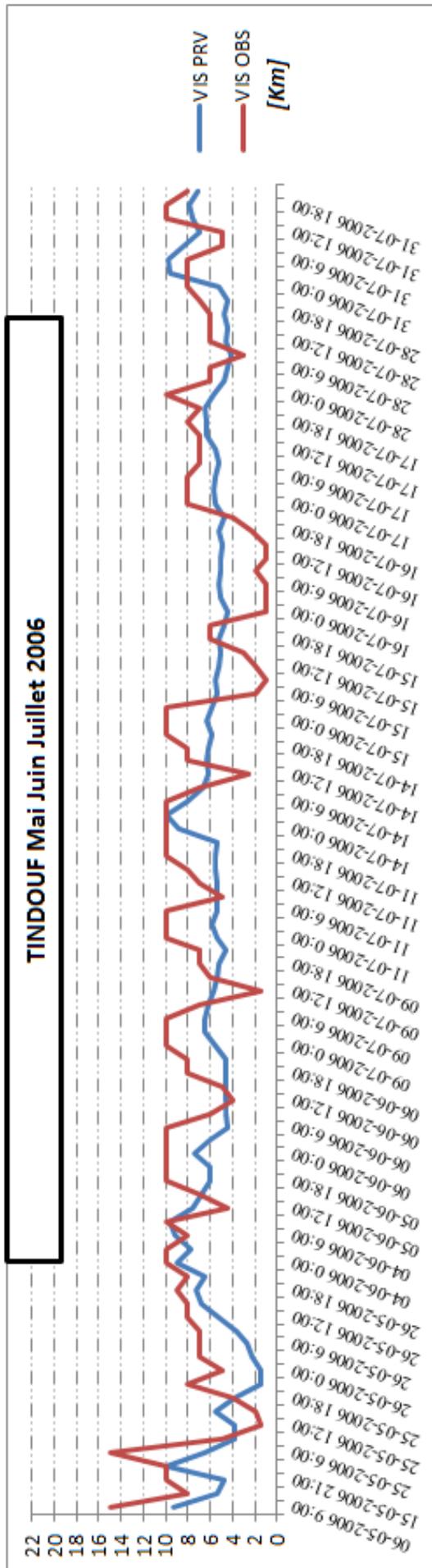


Fig5.2.2-I Variation des visibilités prévues et observées pour la station de TINDOUF durant la période Mai-Juin-Juillet de l'année 2006

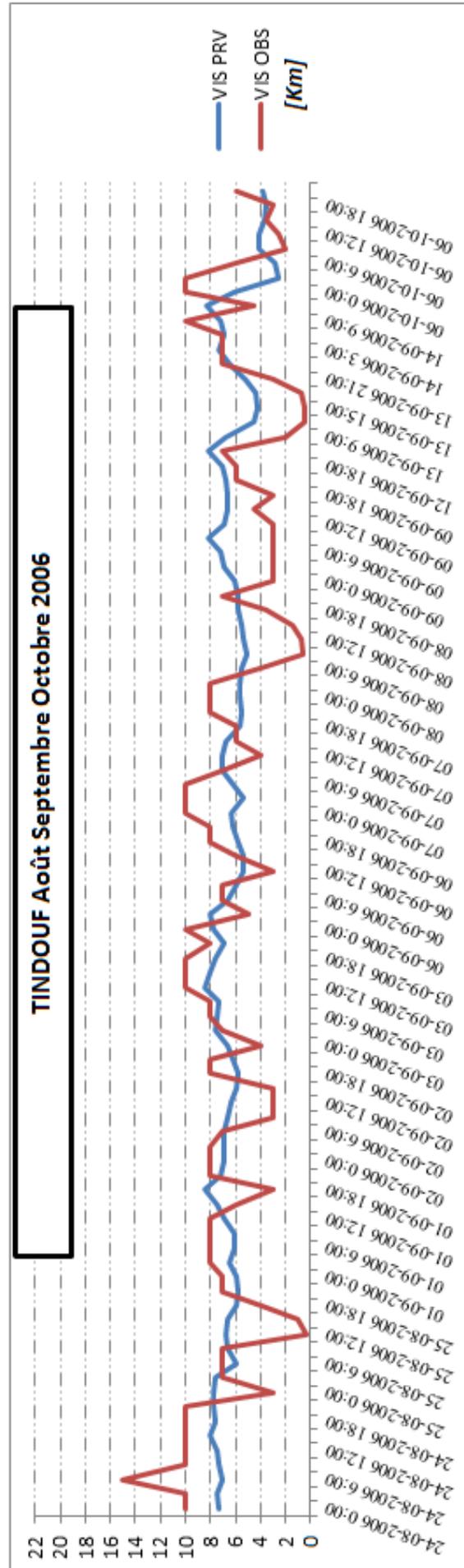
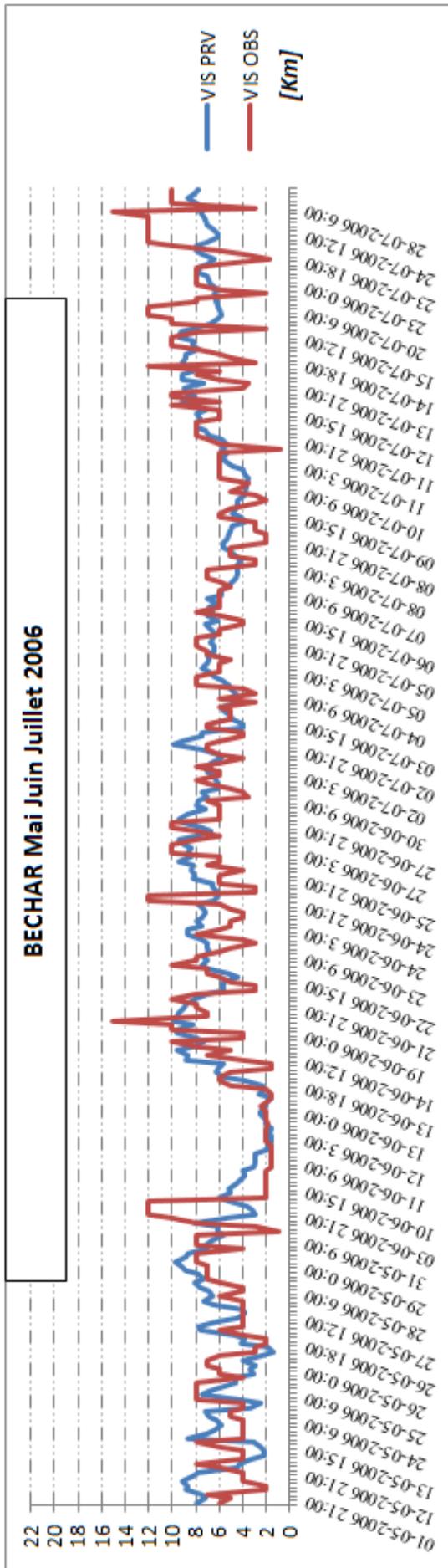
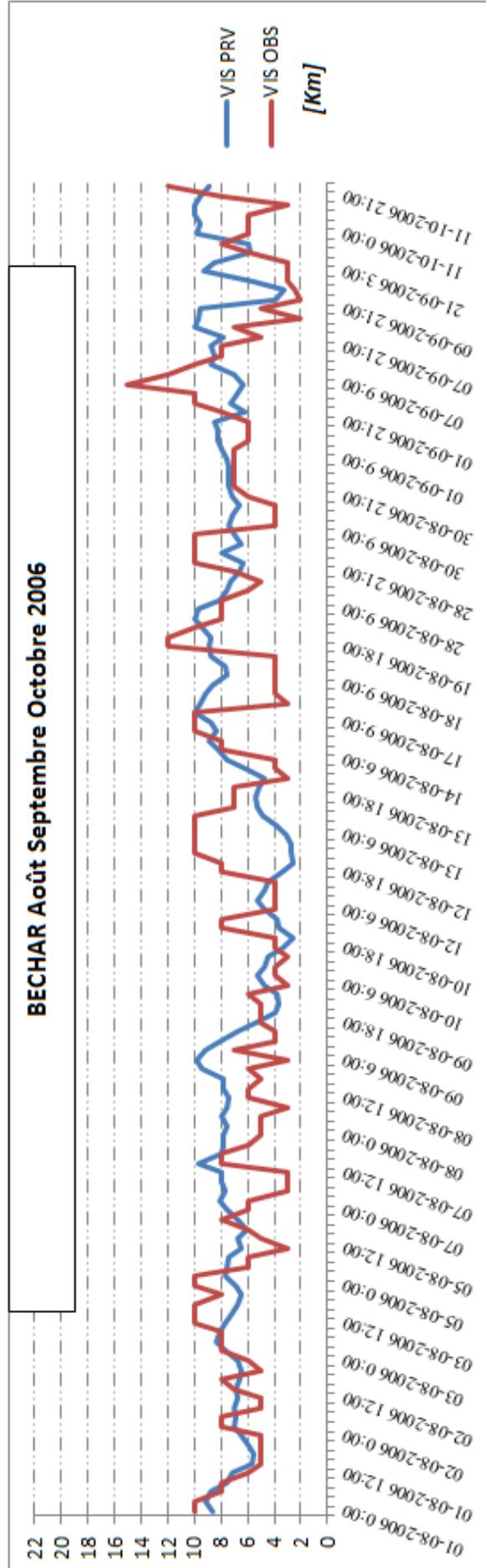


Fig5.2.2-J Variation des visibilités prévues et observées pour la station de TINDOUF durant la période Août-Septembre-Octobre de l'année 2006



*Fig5.2.2-K Variation des visibilités prévues et observées pour la station de BECHAR durant la période Mai-Juin-Juillet de l'année 2006*



*Fig5.2.2-L Variation des visibilités prévues et observées pour la station de BECHAR durant la période Août-Septembre-Octobre de l'année 2006*

# CONCLUSION GENERALE

---

## CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de ce travail, nous avons effectué une recherche bibliographique sur les différents aérosols et leurs natures. Ensuite, nous nous sommes intéressés aux aérosols désertiques et leurs impacts sur le temps, l'environnement et le secteur économique. Puis, nous avons donné quelques définitions de la visibilité dans le domaine aéronautique.

La partie pratique de ce travail consiste à chercher une relation adéquate permettant de transformer les épaisseurs optiques prévues par le système couplé ALADIN-SURFEX en visibilités horizontales afin de faciliter aux prévisionnistes l'exploitation de ces champs pour l'élaboration des bulletins météorologiques et les TAF. Dans ce contexte, nous avons examiné plusieurs relations théoriques puis nous avons confronté les résultats aux données de visibilités observées par les stations météorologiques implantées sur le territoire national. La synthèse de cette comparaison montre que la relation de VELMOT [2002] donne une meilleure approche pour la fonction de passage entre AOD et visibilité, notamment pour les mois d'avril, mai, juin, juillet, août, septembre et octobre. Ces mois sont caractérisés par la remontée des poussières désertiques vers le nord qui engendrent des fortes épaisseurs optiques dépassant 0.47. Par contre, cette relation présente ces limites pour les mois de novembre, décembre, janvier, février et mars qui sont caractérisés par des faibles épaisseurs optiques.

A la fin de ce mémoire nous avons rédigé une note d'exploitation sous forme d'un tableau de correspondance [AOD-visibilité] pour le centre national des prévisions météorologiques [CNPM].

**NOTE**  
**D'EXPLOITATION**

## *Note d'exploitation*

- Pour la prévision de la visibilité est effectuée par la relation de VELMOT (2002)

$$V = 3.9449 / (AOD - 0.08498)$$

Dans laquelle on introduisant les AOD prévues par le modèle ALADIN/SURFEX.

- Un coefficient de corrélation entre la visibilité observé et celle prévue est de **r=0.92** ; ce qui montre la bonne précision de la relation précédente entre la visibilité et l'épaisseur optique AOD pour la période de six mois chauds (de Mai à Octobre).

- Cette relation est valable pour les mois de Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre et Octobre. Dans la région saharienne ; cette période est caractérisé par le soulèvement des phénomènes de sable, ce qui réduit les visibilités. Pour le reste du mois de l'année (Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, Avril) l'intensité des phénomènes de sable est faible, donc les portées visuelles sont plus importantes.

- L'application de cette relation à notre Sahara (Algérie) est valable pour des AOD **supérieure à 0.47**, pour les valeurs plus petites, la relations se diverge et donne des fausses valeurs de visibilités.

- Le tableau de la correspondance entre AOD prévues et Visibilité prévues :

<b>intervalle AOD</b>	<b>visibilité prévue</b>
<b>supérieur à 4.028</b>	moins de 1 km
<b>2.713 &lt; aod &lt; 4.028</b>	1 km
<b>2.056 &lt; aod &lt; 2.713</b>	1.5 km
<b>1.398 &lt; aod &lt; 2.056</b>	2 km
<b>1.070 &lt; aod &lt; 1.398</b>	3 km
<b>0.872 &lt; aod &lt; 1.07</b>	4 km
<b>0.741 &lt; aod &lt; 0.872</b>	5 km
<b>0.647 &lt; aod &lt; 0.741</b>	6 km
<b>0.577 &lt; aod &lt; 0.647</b>	7 km
<b>0.522 &lt; aod &lt; 0.577</b>	8 km
<b>0.478 &lt; aod &lt; 0.522</b>	9 km
<b>inférieur à 0.478</b>	plus de 10 km

# - Bibliographie -

---

**Gaston N'TCHAYI MBOUROU** [1992]. Les aérosols sahariens et sahéliens en Afrique au nord de l'équateur: répartition spatiale et temporelle, influence de la pluviosité sur l'évolution. Thèse de doctorat 3ème cycle.

**Malöe KACENELENOGEN-TILOT** [2008]. Application de la télédétection spatiale à la surveillance de la pollution en aérosols. Thèse de doctorat

**M. BOUZID Samir** [2010]. Validation du modèle global GOCART de NASA et son apport à l'étude des variations mensuelles des phénomènes de sable sur le Sahara Algérien

**Marilyne TOMBETTE** [2007]. Modélisation des aérosols et de leurs propriétés optiques sur l'Europe et l'Île de France : validation, sensibilité et assimilation de données. Thèse de doctorat

**Houda Yah** [2010]. Méthodologie de prévision de la pollution atmosphérique particulaire : Vers une télédétection satellitaire. Thèse de doctorat

**M. Mokhtari, L. Gomes, P. Tulet, and T. Rezoug** [2011] Importance of the surface size distribution of erodible material: an improvement on the Dust Entrainment And Deposition (DEAD) Model.

**Pierre Ozer** [2005] Estimation de la pollution particulaire naturelle de l'air en 2003 à Niamey (Niger) à partir de données de visibilité horizontale.

**Adimula, I. A\*., Falaiye, O. A. Adindu, C. L .**  
Effects of Aerosols loading in the Atmosphere on the Visibility Changes in Ilorin, Nigeria.  
Department of Physics, University of Ilorin, Ilorin, NIGERIA.

**Mylene Civate et Flavie Mandel** – ENM. [décembre 2008]. La mesure de la visibilité.  
Fiche descriptive sur les instruments de mesure météorologique

**Doc 9328.** Manuel des méthodes d'observation et de compte rendu de la portée visuelle de piste.  
**Troisième édition — 2005**

**Annexe 3 OACI.** Assistance météorologique à la navigation aérienne internationale. **Seizième édition Juillet 2007.**