



UNIVERSITE  
JEAN LOROUGNON GUEDE

**UFR ENVIRONNEMENT**

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et  
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :  
2018-2019

N° D'ORDRE : 0262 / 2020

N° CARTE D'ETUDIANT :  
CI0414002471

## MASTER

Physique Chimie Appliquée

Option : Environnement

THEME :

**ETUDE COMPARATIVE DES EPAISSEURS  
OPTIQUES D'AEROSOLS MESUREES EN ZONES  
URBAINES EN CÔTE D'IVOIRE : ABIDJAN ET  
KORHOGO**

LABORATOIRE :  
SCIENCES ET  
TECHNOLOGIES DE  
L'ENVIRONNEMENT

Présenté par :

**KOUAKOU Vika Maria Dolores**

JURY

Président : M. BARIMA Yao Sadaïou Sabas, Maître de Conférences,  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. KOUASSI Kouakou Lazare, Maître de Conférences,  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Encadreur : M. SILUE Siélé, Maître-Assistant,  
Université Peleforo Gon COULIBALY

Examineur : M. KOUASSI Adjon Anderson, Maître-Assistant,  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu publiquement  
le : 10-06-2020

<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>Page</b>
DEDICACES.....	i
REMERCIEMENTS .....	iii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS .....	v
INTRODUCTION.....	1
<b>PARTIE 1 : GENERALITES</b> .....	<b>5</b>
1.1. Généralités sur les aérosols atmosphériques et leurs impacts sur l'environnement et la santé .....	6
1.1.1. Caractéristiques des aérosols atmosphériques.....	6
1.1.2. Transports et dépôts des aérosols .....	14
1.1.3. Impacts des aérosols sur l'environnement et la santé humaine.....	15
1.1.4. Règlementations sur les aérosols.....	18
1.2. Cadre d'étude.....	19
1.2.1. Présentation du programme PASMU .....	19
1.2.2. Présentation des zones d'étude.....	20
<b>PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES</b> .....	<b>23</b>
2.1. Matériel.....	24
2.1.1. Matériel de terrain.....	24
2.1.2. Données.....	25
2.1.3. Logiciels.....	25
2.2. Méthodes .....	25
2.2.1. Collecte des données.....	25
2.2.2. Usage du model HISPLIT.....	28
2.2.3. Traitements des données .....	28
<b>PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....	<b>29</b>
3.1. Résultats .....	30
3.1.1. Variation de la pluie et de la température sur les deux sites durant la période de l'étude .....	30
3.1.2. Evolution spatio-temporelle des épaisseurs optiques d'aérosol.....	31

3.1.3. Evaluation de l'influence des sources et des conditions météorologiques sur l'évolution des AOT dans chacune des deux zones .....	34
3.1.4. Comparaison des AOT et des concentrations des PM.....	39
3.2. Discussion.....	41
CONCLUSION.....	46
REFERENCES.....	48

DEDICACES

*Je dédie ce mémoire à :*

*Mes parents,*

*Mon frère,*

*Ma Sœur,*

*Mon défunt grand frère,*

*Les enseignants du département Physique-Chimie,*

*Mes ami(e)s,*

*Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce document.*

## Avant-propos

Ce mémoire s'inscrit dans le projet PASMU réalisé avec le soutien du MESRS de Cote d'Ivoire dans le cadre de la mise en œuvre du C2D par l'IRD.



Ministère de tutelle



Financé par le 2<sup>e</sup> C2D



Université d'accueil du projet



Institution gestionnaire des projets du C2D

## REMERCIEMENTS

Je remercie les autorités de l'Université Jean Lorougnon Guédé, avec à leur tête le Professeur TIDOU Abiba Sanogo Epouse KONE, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, pour leur dévouement dans la formation des étudiants.

J'adresse mes profonds remerciements au Directeur de l'UFR Environnement, Docteur KOUASSI Kouakou Lazare, Directeur scientifique de ce mémoire pour sa disponibilité, sa patience et son encouragement. Son œil critique m'a été très précieux pour la structure et l'amélioration de mon travail.

J'exprime toute ma reconnaissance au Docteur DIBI Brou, Directeur du Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement (LSTE) de Daloa, pour avoir permis la réalisation de ce travail au sein dudit laboratoire.

Mes remerciements vont principalement à l'endroit du Professeur YOBOUE Véronique, Responsable de l'équipe de recherche « Aérosols et Pollution » du Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de Mécanique des Fluides (LAPA-MF) de l'Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, à qui je dois mon intégration au sein de cette équipe. Ses observations, orientations scientifiques et conseils judicieux ont facilité la réalisation de ce travail.

J'exprime également mes remerciements au Docteur SILUE Siélé, Enseignant-Chercheur à l'Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo, pour avoir accepté l'encadrement de ce travail de Master. Sa disponibilité ainsi que ses critiques constructives, sa patience, ses conseils, suggestions et sa rigueur pour le travail m'ont permis d'adopter une bonne méthodologie. Je tiens à lui exprimer mes vifs remerciements et une reconnaissance inconditionnelle pour l'élaboration de ce mémoire de fin de cycle de Master.

Remerciement spécial au Docteur ADON Marcelin pour sa formation, son implication dans le stage et sa contribution dans la réalisation du mémoire.

Mes remerciements vont également à l'endroit de Messieurs, les membres du Jury qui m'ont fait l'honneur d'examiner mon travail malgré leurs nombreuses obligations.

J'adresse mes sincères remerciements aux enseignants de l'UFR Environnement pour la formation qu'ils m'ont dispensée tout au long de mon parcours universitaire.

Je remercie l'Agence Française de Développement (AFD) qui a financé le projet Pollution de l'Air et Santé dans les Milieux Urbains (PASMU) dans le cadre du programme national de recherche (PNR) 12 du partenariat rénové pour la recherche au service du développement de la

Cote d'Ivoire (PReSeD-CI 2). J'associe à ces remerciements l'Institut de Recherche et de Développement (IRD) qui en assure la mise en œuvre.

Je ne pourrais achever ces remerciements sans évoquer toute l'aide précieuse que m'a apportée ma famille.

Enfin, je remercie toutes les personnes que je n'ai pas pu citer, qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce travail.

## LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

<b>AMMA</b>	: Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine
<b>AOD</b>	: Aerosol Optical Depth
<b>AOT</b>	: Aerosol Optical Thickness
<b>CAFE</b>	: Clean Air For Europe
<b>DACCIWA</b>	: Dynamics-Aerosol-Chemistry-Cloud Interactions in West Africa
<b>HYSPLIT</b>	: HYbrid Single-Particle Lagrangien Integrated Trajectory
<b>INS</b>	: Institut Nationale de la Statistique
<b>LAO</b>	: Laboratoire d'Optique Atmosphérique
<b>OMS</b>	: Organisation Mondiale de la Santé
<b>PASMU</b>	: Pollution de l'Air et Santé dans les Milieux Urbains
<b>PM10</b>	: Particulate Matter 10
<b>PM2.5</b>	: Particulate Matter 2.5
<b>PNR</b>	: Programme National de Recherche
<b>TOMS</b>	: Total Ozone Mapping Spectrometer
<b>UFHB</b>	: Université Félix Houphouët-Boigny
<b>UPGC</b>	: Université Peleforo Gon Coulibaly

## **LISTE DES TABLEAUX**

**Page**

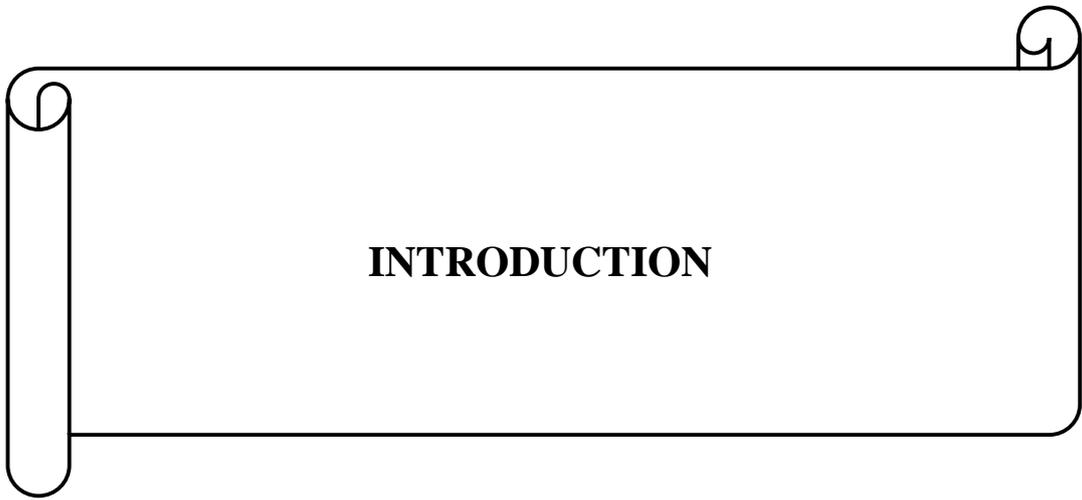
Tableau I : Normes journalières et annuelles des particules PM2.5 et PM10 .....19

Tableau II : Les valeurs  $a_R$  en fonction des longueurs d'ondes .....27

## LISTES DES FIGURES

Page

Figure 1 : Sources naturelles et anthropiques des aérosols .....	8
Figure 2 : Représentation de la distribution granulométrique des aérosols, leur processus de formation et d'évolution .....	10
Figure 3 : Composition chimique des aérosols en fonction de leur taille .....	11
Figure 4 : Impacts des aérosols sur le bilan radiatif .....	16
Figure 5 : Schéma de l'appareil respiratoire et ses différents compartiments .....	18
Figure 6 : Situation géographique des sites d'études .....	20
Figure 7 : Situation géographique de l'UFHB dans la ville d'Abidjan .....	21
Figure 8 : Situation géographique de l'UPGC dans la ville de Korhogo .....	22
Figure 9 : Photomètre Calitoo .....	24
Figure 10 : Evolution mensuelle des hauteurs de précipitations et des températures enregistrées sur le site d'Abidjan en 2019. ....	30
Figure 11 : Evolution mensuelle des hauteurs de précipitations et des températures enregistrées sur le site de Korhogo .....	31
Figure 12 : Evolution des épaisseurs optiques d'aérosols à Abidjan .....	32
Figure 13 : Evolution des épaisseurs optiques d'aérosols à Korhogo .....	33
Figure 14 : Evolution comparée des épaisseurs optiques d'aérosols d'Abidjan et de Korhogo .....	34
Figure 15 : Evolution comparée des AOT et des précipitations à Abidjan (a) et Korhogo (b) .....	35
Figure 16 : Evolution comparée des AOT et des températures à Abidjan (a) et Korhogo (b) .....	36
Figure 17 : Rétro-trajectoires des aérosols à Abidjan en période de saison sèche .....	37
Figure 18 : Rétro-trajectoires des aérosols à Abidjan en période de saison humide .....	37
Figure 19 : Rétro-trajectoires des aérosols à Korhogo en période de saison sèche .....	38
Figure 20 : Rétro-trajectoires des aérosols à Korhogo en période de saison humide .....	39
Figure 21 : Evolution temporelle des AOT et de l'exposant d'Angström à Abidjan .....	40
Figure 22 : Evolution temporelle des AOT et de l'exposant d'Angström à Korhogo .....	40



**INTRODUCTION**

---

L'atmosphère terrestre est un système complexe agissant comme un mélangeur de composés chimiques. Si certains de ces composés sont naturellement présents dans l'atmosphère, d'autres proviennent des activités humaines. On parle dans ce dernier cas de pollution atmosphérique. Ces polluants, dont les plus redoutables sont les gaz à effets de serre, les aérosols et bien d'autres polluants jouent un rôle majeur dans la chimie de l'atmosphère, en santé publique, et dans les changements climatiques (Guillaume, 2006).

En effet, l'impact des polluants particuliers (les aérosols) sur la qualité de l'air devient de plus en plus préoccupant dans la mesure où ils modifient l'équilibre radiatif de notre planète (Collins *et al.*, 2002). Ces aérosols réfléchissent une partie du rayonnement solaire vers l'espace « effet parasol », ce qui induit un refroidissement de la surface, et ils peuvent absorber une partie du rayonnement solaire, ce qui réchauffe la couche de l'atmosphère où ils se trouvent. Enfin, ils absorbent et réémettent le rayonnement infrarouge émis par la surface et l'atmosphère. Une partie du rayonnement est donc piégée « effet de serre », ce qui induit un réchauffement de l'atmosphère. Dans l'infrarouge thermique, cet effet est généralement négligeable, sauf s'il s'agit d'aérosol absorbant, comme les poussières désertiques (Kochac, 2011). Ils modifient les propriétés optiques des nuages (Zahibo, 2018).

Par ailleurs, l'inhalation des aérosols représente un danger pour la santé humaine. Selon l'organisation mondiale de la santé (OMS), la pollution de l'air a causé sept millions de morts en 2012 et est à l'origine de 2% des maladies cardiaques et pulmonaires dans le monde.

L'Afrique, malgré son faible taux d'industrialisation n'est pas en marge des émissions anthropiques de ces particules. En effet, les émissions anthropiques en Afrique représentent jusqu'à 20% de la pollution mondiale actuelle et pourraient atteindre 55% en 2030 (Liousse *et al.*, 2014). Selon Doumbia (2012), l'Afrique de l'Ouest constitue une région fortement exposée aux particules atmosphériques du fait de sa densité de population de plus en plus urbaine avec une croissance d'environ 5 % par an.

Afin de mieux appréhender les risques liés à cette pollution, des initiatives ont été prises à travers certains programmes et projets de recherche. C'est le cas notamment des campagnes de mesures photométriques menées à Ouangofitini de 1986 à 1988 au nord de la Côte d'Ivoire par le Centre d'Etude Spatiale de la Biosphère de Toulouse (CESBIO) (Bedou, 1999). De plus, une autre étude a été menée à LAMTO de 2006 à 2008, dans le cadre du programme sur Analyse Multidisciplinaires de la Mousson Africaine (AMMA) qui portait sur l'étude de la variabilité de la mousson africaine et ses conséquences sur le continent africain. Le programme

---

DACCIWA, financé par l'Union Européenne (UE), s'est intéressé aux liens entre météorologie, climat et pollution de l'air au Sud de l'Afrique de l'Ouest (de la Côte d'Ivoire au Nigéria). Il a permis pour la première fois à des scientifiques d'étudier les impacts des émissions naturelles et anthropiques sur l'atmosphère de cette région, ainsi que sur la santé des populations. Ceci grâce à des données d'observation de grande qualité collectées lors de campagnes intensives de terrain et de mesures sur le long terme.

Bien que ces projets aient contribué à mieux caractériser les aérosols, la connaissance sur leur forçage radiatif représente l'une des incertitudes au niveau du bilan radiatif global, notamment en ce qui concerne les modèles climatiques. En outre, le forçage radiatif désigne l'interaction du rayonnement solaire avec les particules atmosphériques. En effet, l'Épaisseur Optique de l'Aérosol (EOA) est une grandeur importante dans l'étude de l'impact radiatif de ce dernier. Elle renseigne sur la charge en aérosols et quantifie l'extinction du rayonnement incident dans une colonne d'atmosphère à la fois par absorption et par diffusion (Tahiri *et al.*, 2013).

Ce travail, consacré à l'étude comparative de l'Épaisseur Optique de l'Aérosol en milieu urbain est une contribution à la compréhension de l'impact des conditions climatiques et des activités anthropiques sur l'évolution de l'épaisseur optique d'aérosol (ou Aérosol Optical Depth, AOD en anglais) dans deux zones urbaines de la Côte d'Ivoire. Il s'inscrit dans le cadre du programme sur la Pollution de l'Air et Santé dans les Milieux Urbains de Côte d'Ivoire (PASMU) dont le but est d'étudier la pollution chimique atmosphérique dans les villes d'Abidjan et de Korhogo de 2018 à 2021.

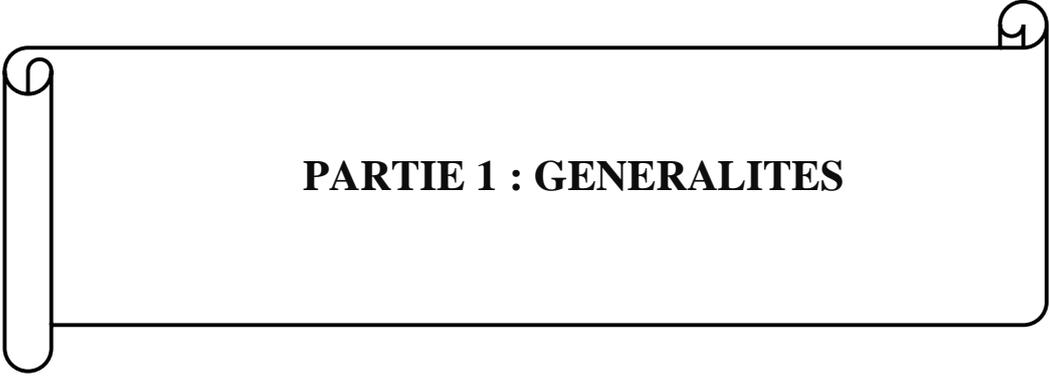
L'objectif général de ce travail est d'évaluer la concentration des aérosols en lien avec les sources des particules dans deux zones urbaines de Côte d'Ivoire : Abidjan (Sud) et Korhogo (Nord).

Il s'agira plus spécifiquement de :

- ✓ évaluer l'évolution spatio-temporelle des épaisseurs optiques d'aérosols dans chacune des deux zones ;
- ✓ évaluer l'influence des conditions météorologiques et des sources sur l'évolution des épaisseurs optiques d'aérosols dans chacune des deux zones ;
- ✓ déterminer le type de particules associé à l'évolution temporelle des épaisseurs optiques d'aérosols mesurées dans chacune des deux zones.

Ce mémoire qui comporte trois chapitres, débute par la présentation du contexte scientifique dans lequel s'est effectué ce travail et s'achève par une conclusion générale. Le premier chapitre introduit quelques notions générales sur les aérosols atmosphériques utiles pour la

compréhension de notre étude. Le second chapitre présente les techniques d'acquisition des données des épaisseurs optiques d'aérosols ainsi que les méthodes d'analyse et de traitements des données utilisées. Enfin, le dernier chapitre est consacré à l'analyse et à l'interprétation des résultats.



**PARTIE 1 : GENERALITES**

## 1.1. Généralités sur les aérosols atmosphériques et leurs impacts sur l'environnement et la santé

Evoqué pour la première fois en 1920 par l'Allemand Schmauss, le mot aérosol atmosphérique se définit comme étant l'ensemble des particules condensées (solides ou liquides) ou de substances chimiques en suspension dans un milieu gazeux (l'atmosphère), à l'exception des gouttelettes d'eau et des cristaux de nuage (hydrométéores) (Depuydt, 2013). Leurs tailles peuvent varier de quelques nanomètres à plusieurs dizaines de micromètres (D'Almeida, 1986; Alfaro *et al.*, 1998). Les aérosols ont un temps de résidence dans l'atmosphère très court. Compte tenu de leurs effets environnementaux, climatiques et sanitaires, il est important pour nous d'avoir une connaissance approfondie de leurs propriétés physico-chimiques ainsi que leurs sources d'émission et leurs transports dans l'atmosphère.

### 1.1.1. Caractéristiques des aérosols atmosphériques

#### 1.1.1.1. Sources et mécanismes de formation des aérosols

La diversité des sources et des processus d'émission des aérosols dans l'atmosphère entraîne une très grande variété de composition et de type de particules selon les situations géographiques et les conditions météorologiques. Les aérosols ont des origines diverses qui peuvent être regroupées en deux catégories de sources. On a les sources naturelles qui désignent les formations ou processus naturels générateurs de particules et les sources anthropiques, c'est-à-dire des particules issues des activités humaines (Lacour, 2010 ; Sellegri, 2012).

En outre, les aérosols peuvent être scindés en deux types selon leur mode de formation. On a les aérosols primaires émis directement dans l'atmosphère que ce soit de façon naturelle ou anthropique. Les aérosols secondaires résultant des transformations chimiques à partir des gaz émis dans l'atmosphère par des phénomènes de nucléation, de coagulation et de condensation. Ces aérosols constituent environ 80% des sources anthropiques. En ce qui concerne les aérosols primaires, leur majeure partie est d'origine naturelle, environ 90% des émissions. Les aérosols présents en milieu urbain sont un mélange de ces aérosols anthropiques et naturels. A l'échelle globale, la masse totale de particule d'origine naturelle mise en suspension est nettement supérieure à celle des particules anthropiques (Rivellini, 2017).

##### 1.1.1.1.1. Sources naturelles

Les sources naturelles des aérosols peuvent être regroupées en quatre types (Figure 1) :

- ✓ **Sources biologiques** : Les particules (pollen, bactéries) issues de ces sources peuvent être introduites de façon primaire ou par des processus de conversion gaz-particules

(secondaire). Ces composés secondaires sont produits par l'oxydation de molécules gazeuses émises par les végétaux et qui sont transportées par le vent sur des distances plus ou moins longues (Péré, 2010).

- ✓ **Sources marines :** Sous l'action des vagues, les gouttelettes d'eau sont projetées dans l'atmosphère et s'évaporent, laissant place à des sels marins solides en suspension dans l'atmosphère. Ce sont des particules inorganiques essentiellement primaires. Les embruns contiennent une forte concentration en sels minéraux, surtout le chlorure de sodium (NaCl).
- ✓ **Sources terrigènes :** Les particules sont générées par l'érosion éolienne des sols arides et semi-arides. La quantité d'aérosols injectée dans l'atmosphère est proportionnelle à la vitesse du vent. Ce type d'aérosol est essentiellement constitué de silice ( $\text{SiO}_2$ ) et d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). On y trouve également d'autres oxydes notamment de fer, manganèse, calcium, potassium, magnésium, sodium ou encore phosphore (Guth, 2015). Les aérosols désertiques émis par érosion éolienne depuis les zones arides et semi-arides représentent plus de 40% des émissions annuelles d'aérosols troposphériques.
- ✓ **Sources volcaniques :** Les volcans, lors d'une éruption, peuvent émettre des particules solides de roches et de minéraux. Ces particules ont une gamme de taille pouvant aller du micromètre à quelques millimètres et sont appelées cendres volcaniques (Guth, 2015). Ils sont principalement constitués de dioxyde de soufre émis par les éruptions volcaniques et rejetés dans la stratosphère. Du fait de leur injection dans cette partie de l'atmosphère, ces particules peuvent se répandre progressivement sur l'ensemble du globe (Colin, 2010).

#### 1.1.1.1.2. Sources anthropiques

Les aérosols d'origine anthropique sont introduits dans l'atmosphère soit de façon directe (aérosols primaires) ou suite à des processus de conversion gaz-particules (aérosols secondaires). La majorité des aérosols anthropiques proviennent des processus de combustion (les feux de biomasse, combustion des combustibles gaz naturels, pétrole et charbon). Notons également que, les activités industrielles (fumées et poussières industrielles, cimenteries...), et le trafic routier (usures de pneus) constituent des sources anthropiques d'aérosols (Djossou, 2018).

En milieu urbain, les activités industrielles (construction, secteur minier, cimenteries, fabrication de céramique et de briques), l'érosion des chaussées sous l'effet de la circulation routière sont à l'origine des aérosols anthropiques. Ces aérosols urbains sont principalement constitués de particules submicroniques formées près des sources d'émissions, ayant une durée de vie suffisamment importante. Par ailleurs, plus ils ont un temps de résidence plus leurs interactions seront plus durables.

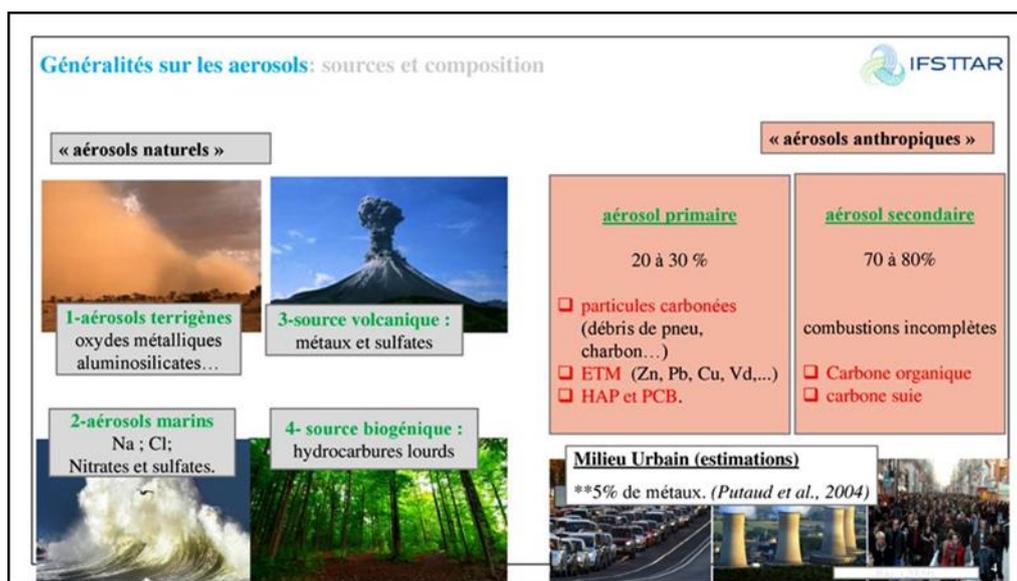


Figure 1 : Sources naturelles et anthropiques des aérosols (Kouadio, 2018)

En Afrique de l'Ouest, les principales sources d'aérosols sont les feux de biomasse, la combustion de fuel fossile et bio-fuel liée aux trafics et aux industries, l'émission de la poussière désertique par érosion éolienne et les embruns marins (Liousse *et al.*, 2010). Ces émissions sont en constante augmentation pour les bio-fuels et les combustibles fossiles, du fait de l'accroissement démographique. Les émissions qui en découlent sont anthropiques pour la grande majorité. Ainsi, concernant les combustions de biomasse lors de la saison sèche les émissions d'aérosols issus de la biomasse sont importantes (Liousse *et al.*, 2014). Ces particules issues des combustions biogéniques vont s'ajouter aux poussières terrigènes issues de l'advection désertique déjà présentes à cette période. Ainsi, pendant la saison sèche qui débute en décembre, l'on assiste à une augmentation des épaisseurs optiques des aérosols. En saison humide, les vents du sud-ouest peuvent aussi emporter les panaches de feux du sud de l'Afrique vers l'Afrique de l'Ouest (Kaufman *et al.*, 2005).

Par ailleurs, à l'instar des grandes capitales africaines, la ville d'Abidjan est marquée par un trafic routier important avec pour conséquence des émissions particulières dues aux combustions de carburant surtout que le parc auto est dominé par des véhicules vétustes

(transports en communs, les voitures d'occasion ...). En plus de cela, Abidjan abrite plusieurs infrastructures industrielles qui émettent des poussières particulières. Notons également que le trafic routier de la ville de Korhogo est dominé par les engins à 2 roues notamment les motos.

### 1.1.1.2. Granulométrie des aérosols

La taille des aérosols s'étend sur une large gamme de rayons allant de quelques nanomètres à une dizaine de microns. Celle-ci dépend étroitement de la nature, de la source de production et des réactions qu'elles subissent durant leur durée de résidence dans l'atmosphère. On distingue en général trois (3) catégories ou modes de distribution d'aérosols :

- **Noyaux Aiken** ou mode de nucléation : ce sont des particules ultrafines dont le diamètre est inférieur à  $0,1 \mu\text{m}$  et qui constituent des noyaux de condensation dans le processus de formation des nuages et des brouillards. Ces particules résultent d'une nucléation homogène ou hétérogène de molécules gazeuses émises dans l'atmosphère. Elles sont très vite captées par des grosses particules ce qui leur confère une durée de vie très faible. Ce mode contient un nombre élevé de particules mais impacte faiblement la masse totale d'aérosols atmosphériques dû à leurs petites tailles (Péré, 2010).
- **Le mode d'accumulation** contient des aérosols ayant un diamètre compris entre  $0,1 \mu\text{m}$  et  $1 \mu\text{m}$  et résulte du grossissement de petites particules ou de l'évaporation de grosses particules par la condensation des particules préexistantes dans ce mode et de la coagulation d'aérosols (Toubette, 2007). Les phénomènes d'adsorption tendent à faire évoluer les particules de ces modes vers des particules plus grosses (Péré, 2010).
- **Le mode grossier** est constitué de particules d'un diamètre supérieur à  $1 \mu\text{m}$ . Elles sont principalement émises directement dans l'atmosphère (poussières minérales sels marins, débris végétaux...etc.). Ce mode est le plus dominant en masse dans une population d'aérosols, mais a une durée de vie moins longue car elles sont facilement éliminées par sédimentation (chute sous l'action de la gravité) (Korgo, 2014).

Les matières particulaires (Particulate Matter en anglais, PM) peuvent être définies comme étant le mélange ou l'accumulation d'aérosols atmosphériques. Ce sont des particules solides ou liquides qui sont suspendues dans l'atmosphère et qui ont un diamètre variant de  $0,01$  à  $10 \mu\text{m}$ . Par ailleurs, ces particules aussi appelées PM<sub>1.0</sub> ; PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub> correspondent à la concentration massique des particules ayant un diamètre aérodynamique respectivement inférieur à  $1$  ;  $2,5$  et  $10 \mu\text{m}$ . La figure 2 montre les mécanismes de formation qui gouvernent les différentes modes granulométriques des particules aérosols.

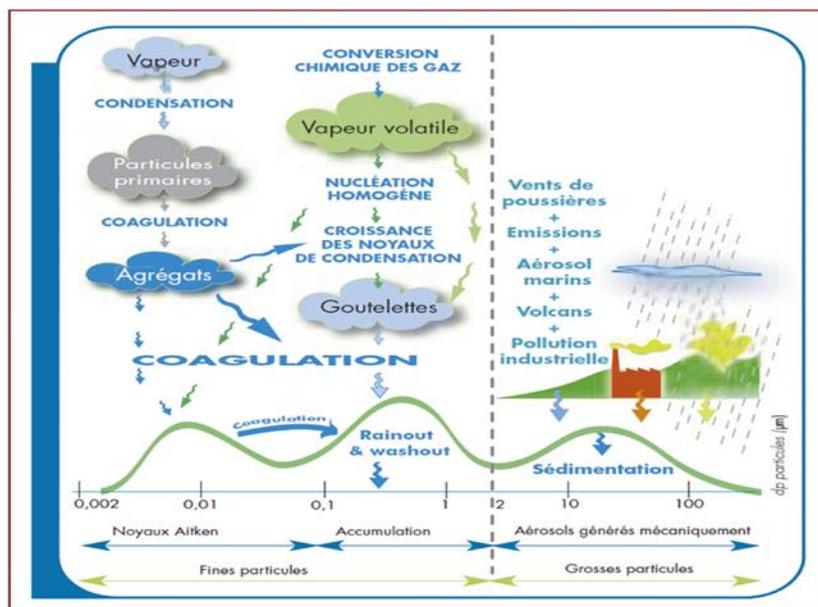


Figure 2 : Représentation de la distribution granulométrique des aérosols, leur processus de formation et d'évolution (Renoud & Boulaud, 2005).

### 1.1.1.3. Composition chimique des aérosols

Pour comprendre les effets des particules sur le climat et la santé, il est important de connaître la composition chimique des aérosols. Cette composition est dépendante de la nature de la source d'émission, de la proximité des sources pour les aérosols d'origine primaire, du type de précurseurs pour les aérosols secondaires ainsi que des transformations que les particules subissent au cours du transport atmosphérique (Ahmad, 2017). Cependant, deux familles chimiques d'aérosols se distinguent : la fraction organique et la fraction minérale. En effet, les particules peuvent être soit organiques, minérales mais généralement elles sont une constituante des deux fractions.

#### 1.1.1.3.1. Fraction inorganique ou minérale

Constituée entre 30 et 70% des aérosols submicroniques (taille inférieure au micron), cette fraction est prépondérante dans les zones océaniques ou celles proches des sources d'émissions des particules désertiques. Notons par ailleurs que la fraction minérale est composée essentiellement de sulfates, de nitrates et d'ammonium. Les concentrations de ces trois derniers éléments sont de l'ordre de quelques dixièmes, voire quelques centièmes de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , loin des zones sources et peuvent atteindre quelques dizaines de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en milieu urbain (Zahibo, 2018).

### 1.1.1.3.2. Fraction organique

L'aérosol carboné se divise en deux composantes : le carbone élémentaire (EC) et le carbone organique (OC). Le carbone élémentaire encore appelé carbone suie ou black carbon est une substance noirâtre particulièrement riche en carbone et chimiquement peu réactive. Il correspond au composé le plus dégradé à l'issue d'un processus de combustion (des combustions fossiles et de biomasse) et est émis directement dans l'atmosphère. Etant d'origine essentiellement anthropique, il existe une forte dépendance entre les concentrations en carbone suie dans l'atmosphère et la proximité des sources de pollution (Guth, 2015). Ce composé atmosphérique est le plus absorbant du rayonnement solaire visible.

La fraction « carbone organique » regroupe plusieurs familles de composés tels que les alcanes cycliques et linéaires, les acides alcanoïques et di-carboxyliques, les alcools, les aldéhydes, les cétones, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (Bliefert & Perraud, 2001). Cette fraction peut être soit émise directement dans l'atmosphère à partir de cires végétales ou la combustion de biomasse et de matières fossiles (aérosols organiques primaires, AOP), soit provenir de l'oxydation de composés organiques volatils (COV) biogéniques et anthropiques, on parle dans ce cas d'aérosols organiques secondaires (AOS)(Ahmad, 2017).

La figure 3 présente une composition typique que l'on peut trouver dans les aérosols selon leurs différentes dimensions.

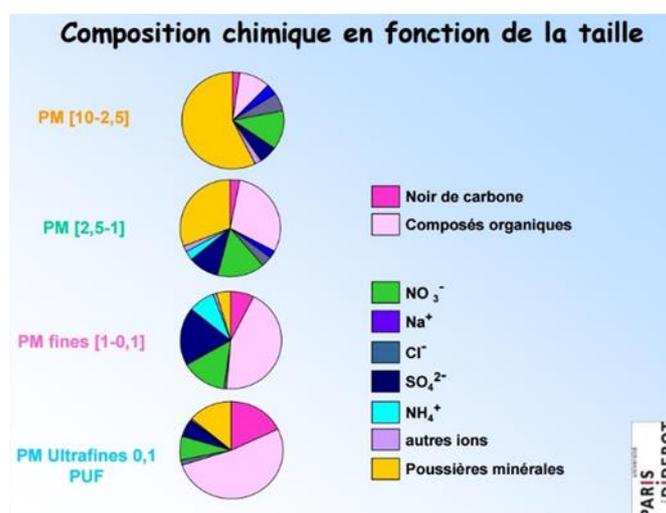


Figure 3 : Composition chimique des aérosols en fonction de leur taille (www.les-crisis.fr).

On constate une multitude de composés pouvant constituer les aérosols, ainsi que des proportions relatives des différents composés pour chaque intervalle de diamètre. En particulier les aérosols dont le diamètre est inférieur à 2,5, comportent plus de composés organiques et

ceux dont le diamètre est supérieur à 2,5, une grande proportion de poussières minérales issues des zones arides et embruns marins.

#### 1.1.1.4. Propriétés physiques et optiques

L'interaction du rayonnement solaire avec les particules appelées forçage radiatif dépend essentiellement des propriétés optiques des aérosols (Djossou, 2018). Au contact du rayonnement avec les particules d'aérosols, les phénomènes de réflexion, de diffusion, et d'absorption du rayonnement se produisent dans l'atmosphère. Dans la suite, il s'agira d'expliquer chacune de ces propriétés optiques.

##### ➤ La diffusion

La diffusion peut être définie de façon simple comme le changement de direction des rayons incidents suite à leurs interactions avec les particules d'aérosols. Le rapport entre la taille de la particule et la longueur d'onde du rayonnement est particulièrement important dans le phénomène de diffusion. Ainsi, identifie-t-on trois types de diffusion.

- ❖ Les particules ayant des tailles inférieures de 10% à la longueur d'onde des rayons incidents ont un domaine de diffusion de type diffusion de Rayleigh.
- ❖ Celles dont la taille varie de 10% à 100% de la longueur d'onde des rayons incidents ont une diffusion dite diffusion de Mie. Les aérosols exercent une diffusion de ce type au contact avec les rayonnements car leur taille est de l'ordre de grandeur des longueurs d'ondes (Payan, 2009).
- ❖ Celle liée aux particules de taille largement supérieure à la longueur d'onde du rayonnement incident est dite non sélective.

##### ➤ L'absorption

L'absorption correspond à la conversion du rayonnement incident sous d'autres formes d'énergies (chaleur, réaction chimique...) traduisant la fin de vie des photons incidents. Les aérosols anthropiques sont plus absorbants que ceux naturels. Les propriétés d'absorption sont directement liées à la composition chimique de l'aérosol et à son indice de réfraction (Kecenelenbogen-Tilot, 2008). Le coefficient d'absorption ( $C_{abs}$ ) est le rapport de l'intensité absorbée à l'intensité incidente initiale (Hervo, 2013). Il s'exprime selon l'équation (1)

$$C_{abs} = \frac{I_{abs}}{I_{inc}} \quad (1)$$

$I_{abs}$ : Intensité absorbée et  $I_{inc}$ : Intensité incidente

### ➤ L'extinction ou l'atténuation

L'atténuation traduit la conséquence combinée de la diffusion et de l'absorption. L'extinction ou atténuation ( $\sigma_{ext}$ ), est la somme des sections efficaces de diffusion ( $\sigma_{diff}$ ) et de l'absorption ( $\sigma_{abs}$ ). L'extinction représente l'effet total des aérosols atmosphériques sur le rayonnement. L'équation (2) est une expression du coefficient d'extinction qui est une fonction de la taille des particules.

$$\sigma_{ext} = \sigma_{abs} + \sigma_{diff} \quad (2)$$

### ➤ Albédo de diffusion

L'albédo de simple diffusion  $w_0$  (sans unité) est l'un des paramètres optiques qui rend compte de l'importance relative de la diffusion dans l'estimation des impacts radiatifs des aérosols.  $w_0$  correspond physiquement au rapport entre la section efficace de diffusion ( $\sigma_{diff}$ ) et la section efficace d'extinction ( $\sigma_{diff}$ ) des particules, il traduit la probabilité que des photons interceptés par la population d'aérosol soient diffusés (Tahiri *et al.*, 2013). Il se définit par l'équation (3)

$$w_0 = \frac{\sigma_{diff}}{\sigma_{ext}} = \frac{\sigma_{diff}}{\sigma_{abs} + \sigma_{diff}} \quad (3)$$

### ➤ Indice de réfraction

L'indice de réfraction est une propriété importante des aérosols permettant de prendre en compte la composition chimique de l'aérosol. C'est un nombre complexe ( $m = n + ik$ ), dépendant de la longueur d'onde, dont la partie réelle ( $n$ ) détermine la vitesse de propagation de l'onde et la partie imaginaire ( $k$ ) nous renseigne sur l'absorption des aérosols. La partie réelle est généralement comprise entre 1,33 (aérosols saturés d'eau) et 1,55 (aérosol minéral), mais peut aussi atteindre 1,75 dans le domaine du visible pour les particules de suie. La partie imaginaire est proche de zéro pour les aérosols diffusants comme le sulfate, les sels marins ou le carbone organique (0,005) mais peut être supérieure à 0,5 (dans le visible) pour les aérosols absorbants comme les particules de suie (Mallet *et al.*, 2003).

### ➤ Coefficient d'Angström (AE pour « Angstrom Exponent »)

Le coefficient d'angström exprime la dépendance spectrale de l'extinction en décrivant la variation du coefficient de diffusion entre deux longueurs d'onde et renseigne sur la distribution en taille des aérosols. Cette distribution dépend essentiellement des conditions météorologiques

et varie significativement en fonction des changements de température et de l'humidité relative (Shaw, 1988 ; Singh *et al.*, 2000). Les valeurs du coefficient d'Angström sont inversement proportionnelles à la taille des particules (Yahi, 2010). Considérant deux longueurs d'onde  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ , il est donné par l'équation (4) :

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{AOD_{\lambda_2}}{AOD_{\lambda_1}}\right)}{\ln\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)} \quad (4)$$

En ce qui concerne les aérosols, les valeurs d'AE comprises entre 0 et 1 sont associées aux particules grossières (poussières désertiques, aérosols marins) ; les valeurs supérieures à 1 reflètent les fines particules généralement assimilées à la pollution industrielle et urbaine. Les grosses particules peuvent avoir un AE négatif (Euphrasie, 2018).

### ➤ **Epaisseur optique**

L'épaisseur optique des aérosols encore appelée profondeur optique d'aérosols est une grandeur adimensionnelle qui renseigne sur l'atténuation du rayonnement incident dans la colonne atmosphérique. Elle donne une indication du contenu en aérosols atmosphériques de l'air et permet donc la surveillance globale en aérosol afin de prévenir leur impact tant sur le climat et l'environnement que sur la santé des êtres vivants (Yahi, 2010).

## **1.1.2. Transports et dépôts des aérosols**

### **1.1.2.1. Transport des aérosols**

Le mécanisme de transport des aérosols dans l'atmosphère est fonction des propriétés physiques des particules et des phénomènes météorologiques (Djossou, 2018). Une fois émises dans l'atmosphère, plusieurs configurations peuvent être observées. Les particules subissent un déplacement de façon verticale ou horizontale.

Les particules d'aérosols peuvent subir un déplacement vertical vers les moyennes ou hautes couches troposphériques, ou déposées près des zones sources.

Les aérosols peuvent être transportés horizontalement sur des distances plus ou moins longues avant d'être déposés après un séjour allant de quelques minutes à plusieurs jours dans l'atmosphère (Djossou, 2018).

### **1.1.2.2. Mécanismes de dépôts des aérosols**

La durée de suspension dans l'air des particules d'aérosols varie de quelques secondes à quelques jours et dépend essentiellement de la diversité de tailles de celles-ci. Ainsi, deux

mécanismes de dépôts des aérosols favorisent leur élimination dans l'atmosphère : le dépôt par voie « sèche » et le dépôt par voie « humide ».

Le dépôt sec s'effectue lorsque les particules se déposent directement sur le sol, suite à un processus prenant plusieurs jours ou semaines. Ce type de dépôt se produit généralement avec les aérosols ayant un grand diamètre (grosses particules). Ces particules demeurent moins longtemps en suspension dans l'atmosphère, puisqu'elles ont une vitesse de sédimentation plus élevée que celle des particules fines. Notons aussi un mécanisme de diffusion sur une surface des particules plus fines qui, plus complexe, dépend de la concentration atmosphérique en particule et de la capacité qu'à la particule à se déposer sur une surface. Quant aux dépôts humides, ils se produisent par incorporation des particules dans les phases liquides des nuages et aussi par l'aptitude des particules d'accumulations à être des noyaux de condensation permettant leur lessivage par des précipitations. Les dépôts humides constituent le principal mode de dépôt des particules fines (Colin, 2010).

### **1.1.3. Impacts des aérosols sur l'environnement et la santé humaine**

Le caractère diversifié des tailles ainsi que leurs compositions chimiques confèrent aux aérosols une forte capacité à impacter l'environnement et ses constituants. En effet, du fait de leur opacité, ils jouent un rôle radiatif important. Outre cet effet, les aérosols influencent tant la santé humaine que les écosystèmes. Dans les sections suivantes, les impacts radiatifs, sanitaires et économiques des aérosols sur les êtres vivants et sur la végétation sont présentés.

#### **1.1.3.1. Impact des aérosols sur la météorologie et le climat**

Le rayonnement solaire traverse l'atmosphère avant d'interagir avec la surface de la terre. Près de 40% du rayonnement incident est absorbé et réfléchi par l'atmosphère (Ahmad, 2017). Le bilan radiatif est la différence entre l'énergie entrante (solaire) et sortante (solaire ou tellurique) du système terre-atmosphère. L'impact d'un facteur externe au système climatique entraîne un déséquilibre de ce bilan radiatif appelé forçage radiatif (Kecenelenbogen-Tilot, 2008). Ce forçage peut être positif (négatif) lorsqu'il entraîne un réchauffement (refroidissement) du climat.

Les aérosols, contrairement aux gaz, affectent la balance énergétique du système terre-atmosphère par dispersion directe ou absorption des radiations à travers leurs propriétés optiques (Satheesh & Moorthy, 2005 ; Wright *et al.*, 2010). En effet, ils peuvent directement modifier le rayonnement solaire incident et le flux tellurique (effet radiatif direct et semi direct). De plus, ils peuvent également modifier la microphysique des nuages par leurs propriétés physico-chimiques (effet radiatif indirect) (Figure 4).

- ✓ Effet direct ou effet parasol est dû à l'interaction direct des aérosols avec le rayonnement solaire/tellurique via les processus de diffusion et d'absorption. Les aérosols diffusent une partie du rayonnement (ultraviolet-visible-proche de l'infrarouge) ce qui induit une diminution de la quantité d'énergie atteignant le sol. Cet effet conduit au refroidissement de la couche terrestre (forçage radiatif négatif). Notons également que certains types d'aérosols tels que le carbone suie et les poussières minérales absorbent l'énergie solaire provoquant un réchauffement de la couche atmosphérique. Les aérosols peuvent agir également dans le domaine des longueurs d'ondes telluriques (infrarouge thermique) en absorbant et en réémettant vers le sol une partie du rayonnement émis par la surface terrestre, accentuant ainsi l'effet de serre (forçage radiatif direct positif).
- ✓ Effet semi direct introduit par Hansen *et al.* (1997) pour décrire l'influence de l'absorption des aérosols absorbants sur les champs nuageux. En effet, en absorbant de façon très élevé le rayonnement solaire, les aérosols induisent une modification du profil de température entraînant la disparition ou la modification de l'extension nuageuse.
- ✓ Effet indirect se manifeste au niveau du processus de formation des nuages où les aérosols se comportent comme des noyaux de condensation et modifient leurs propriétés optiques (Tahiri *et al.*, 2013). L'interaction aérosol-nuage conduit à deux principaux effets. D'une part, une forte charge en aérosols en air pollué conduit à un grand nombre de gouttelettes d'eau donnant lieu à un nuage réfléchissant. D'autre part, les gouttelettes étant plus petites, elles n'atteignent pas les tailles nécessaires pour pouvoir précipiter ainsi les nuages ont donc une longue durée de vie. Il est important de prendre en considération les interactions aérosols-nuage, afin de prévoir ce qui va se produire ensuite dans l'atmosphère une fois que les nuages se forment (Tremblay, 2017).

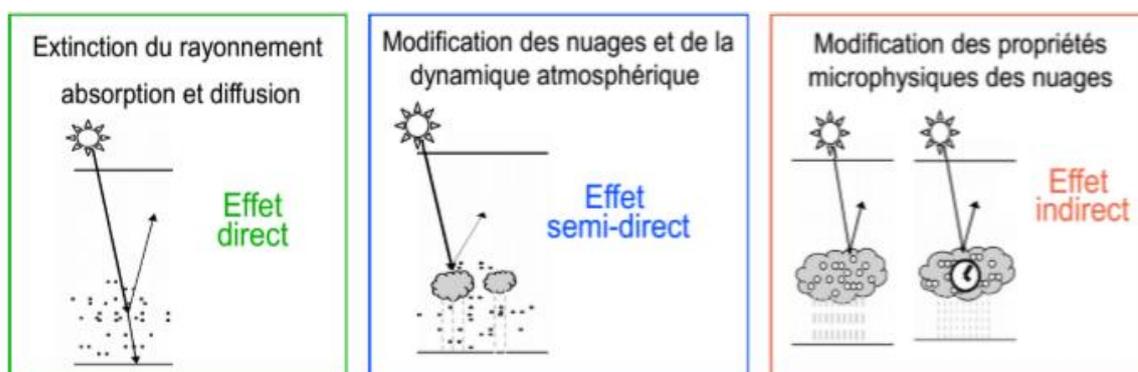


Figure 4 : Impacts des aérosols sur le bilan radiatif (Zahibo, 2018)

### 1.1.3.2. Impact sanitaire et socio-économique des aérosols

Outre les effets sur la météorologie ou sur le climat, les aérosols ont aussi des impacts sociétaux, tant du point de vue de la santé qu'au niveau de l'agriculture.

#### 1.1.3.2.1. Impact des aérosols sur la santé humaine

Les effets des aérosols sur la santé ont fait l'objet de nombreuses études et il est aujourd'hui reconnu que les aérosols sont des polluants toxiques pour les êtres vivants. Cela vient du fait que les particules entraînent un affaiblissement des fonctions respiratoires (souffle court, asthme) ainsi que des maladies chroniques du système pulmonaire pouvant aller jusqu'à des cancers des poumons et des maladies cardiovasculaires (Salvi *et al.*, 1999). L'impact des aérosols sur le système respiratoire est étroitement lié à leur taille, leur concentration et leur composition chimique.

Le processus d'introduction des particules dans l'organisme est déterminé par la taille : plus le diamètre des particules est petit, plus elles vont pénétrer profondément dans l'appareil respiratoire et provoquer des dommages importants. Les particules PM<sub>2.5</sub> présentent un risque plus élevé pour la santé que les particules de type PM<sub>10</sub> (Kouassi *et al.*, 2012). Les particules de diamètre supérieur à 10 µm seront filtrées par le système ciliaire du nez, alors que celles de taille comprise entre 2,5 à 10 µm de diamètre seront arrêtées au niveau des voies respiratoires supérieures et pourront être éliminées par des mécanismes naturels tels que la toux (D'amato *et al.*, 2005). En revanche, les particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm sont suffisamment petites pour s'enfoncer jusqu'aux alvéoles pulmonaires. Ces particules (PM<sub>2.5</sub>) sont responsables de l'irritation des voies respiratoires, de l'altération de la fonction respiratoire surtout chez les enfants et les personnes âgées (Korgo, 2014). C'est pourquoi les fractions PM<sub>2.5</sub> sont dites thoraciques et les fractions PM<sub>10</sub>, alvéolaires (Figure 5). Le programme Clean Air For Europe (CAFE) estime que les PM<sub>2.5</sub> présentent dans l'atmosphère sur la base des émissions de l'année 2000, ont entraîné en Europe une perte annuelle de 3,7 millions de vie, et environ 348000 décès prématurés. Les aérosols émis en milieu urbain sont majoritairement constitués de particules de petites tailles, dites inhalables (Djossou, 2018). La figure 5 montre les divers compartiments du système respiratoire dans lesquels sont déposées les différentes particules inhalées.

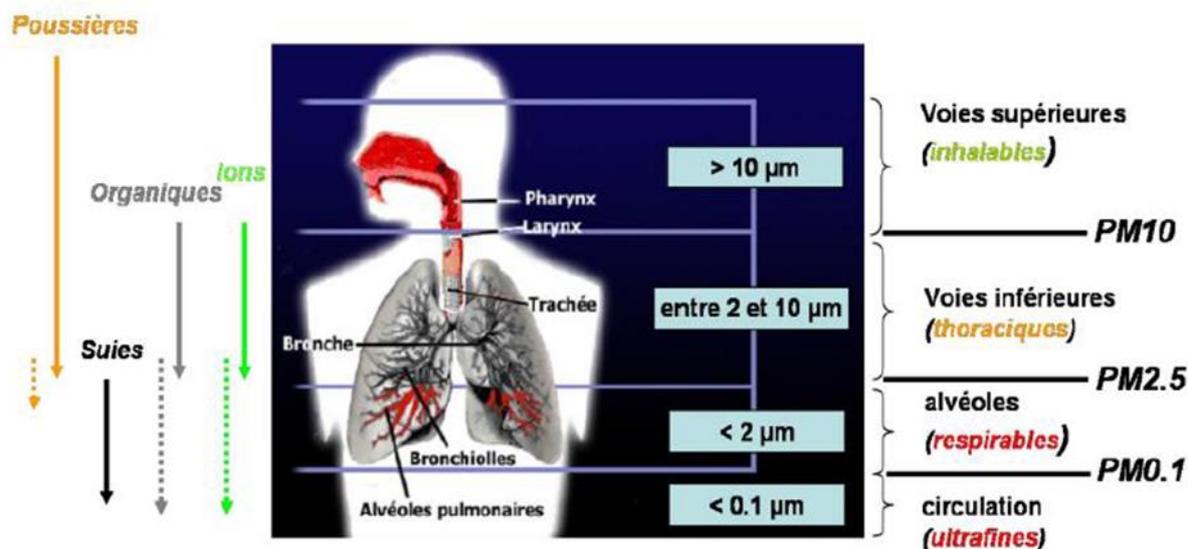


Figure 5 : Schéma de l'appareil respiratoire et ses différents compartiments (Djossou, 2018)

#### 1.1.3.2.2. Impacts des aérosols sur la végétation et l'agriculture

Les aérosols de par leur effet radiatif diminuent le rayonnement solaire parvenant aux plantes réduisant ainsi la photosynthèse de ces dernières. Cet effet est plus important lorsqu'il y a un dépôt d'une couche d'aérosols sur le feuillage de la végétation (Guth, 2015). Ce dépôt engendre une réduction des échanges gazeux entre la plante et son environnement.

Cependant, la diffusion du rayonnement solaire par des particules a un effet largement bénéfique pour la photosynthèse. En effet, elle permet au rayonnement d'atteindre le maximum de feuillage favorisant ainsi le développement de la végétation. Par contre, lorsque la charge d'aérosols est beaucoup trop élevée cela provoque l'effet contraire et donc nuit à la croissance de la végétation (Boucher, 2012) dans ce second cas, cela se traduit par la baisse du rendement des cultures.

#### 1.1.4. Règlementations sur les aérosols

Les questions liées à la qualité de l'air font de plus en plus partie des préoccupations quotidiennes de nos institutions politiques et gouvernementales. C'est dans cette optique que plusieurs recommandations et réglementations sont établies par ces dernières, concernant plusieurs polluants tant au niveau international que national pour améliorer la qualité de l'air. Les aérosols, vu leurs impacts importants sur la qualité de vie et la santé humaines ne sont pas épargnés par ces différentes directives. On peut citer entre autres, celles de l'OMS adoptées par la Côte d'Ivoire et qui a publié deux recommandations : Une pour les PM10 (particules dont les diamètres sont inférieurs à  $10 \mu\text{m}$ ) et une autre pour les PM2.5 (particules dont les diamètres

sont inférieurs à 2,5  $\mu\text{m}$ ). Les valeurs sont consignées dans le tableau I. Ces lignes directrices sont des valeurs indicatives à ne pas dépasser.

**Tableau I** : Normes journalières et annuelles des particules PM2.5 et PM10

Taille des particules	Normes journalières	Normes annuelles
PM10 : particules de diamètre inférieures à 10 $\mu\text{m}$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 : particule de diamètre inférieures à 2,5 $\mu\text{m}$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

### 1.2. Cadre d'étude

Cette partie est essentiellement consacrée à la présentation le cadre du programme sur la Pollution de l'Air et Santé en Milieux Urbains en Côte d'Ivoire (PASMU) et du cadre de travail et la description des sites d'études.

#### 1.2.1. Présentation du programme PASMU

Le programme PASMU est un programme financé par l'Agence Française du Développement (AFD) dans le cadre du Programme National de Recherche (PNR) 12 du Partenariat renoué pour la Recherche au Service du Développement de la Côte d'Ivoire (PReSeD-CI 2). La mise en œuvre de ce programme est assurée par l'Institut de Recherche et de Développement (IRD). Ce programme a pour objectif scientifique de créer un réseau d'observation long-terme pour étudier la pollution atmosphérique (gaz et particules) en lien avec l'état de santé des populations d'Abidjan et de Korhogo. L'un des objectifs spécifiques de ce programme est d'effectuer la caractérisation physico-chimique de la pollution de l'air à Abidjan et à Korhogo et de l'acidité des pluies dans ces villes de mars 2018 à mars 2021.

Afin de mieux caractériser le niveau de pollution des aérosols en milieu urbain, deux villes ont été retenues pour effectuer cette étude, la ville d'Abidjan au sud et celle de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire (Figure 6). Les critères de sélection de ces villes sont basés sur leurs différences des conditions géographiques et climatiques. Les mesures ont été effectuées principalement pour la ville d'Abidjan à l'Université Félix Houphouët-Boigny et à l'Université Peleforo Gon Coulibaly pour la ville de Korhogo.



Figure 6 : Situation géographique des sites d'études

## 1.2.2. Présentation des zones d'étude

### 1.2.2.1. Présentation de la zone urbaine d'Abidjan

#### 1.2.2.1.1. Cadre géographique

Abidjan est la capitale économique de la Côte d'Ivoire. Selon Olahan (2010), la ville est localisée entre les latitudes 5°10' et 5°40' Nord et les longitudes 3°50' et 4°20' Ouest (Figure 7). La ville d'Abidjan est située à une altitude de 18 m, au sud-est de la Côte d'Ivoire, au bord du golfe de Guinée et s'étend sur une superficie d'environ 57,735 ha. Sa population est estimée à plus de 4.707.404 habitants soit 20,8 % de la population totale ivoirienne (INS, 2015). Première ville la plus peuplée de l'Afrique de l'ouest francophone et considérée comme le carrefour culturel ouest-africain, Abidjan abrite plus de 7 zones industrielles et connaît une perpétuelle croissance caractérisée par une forte industrialisation et une urbanisation galopante.

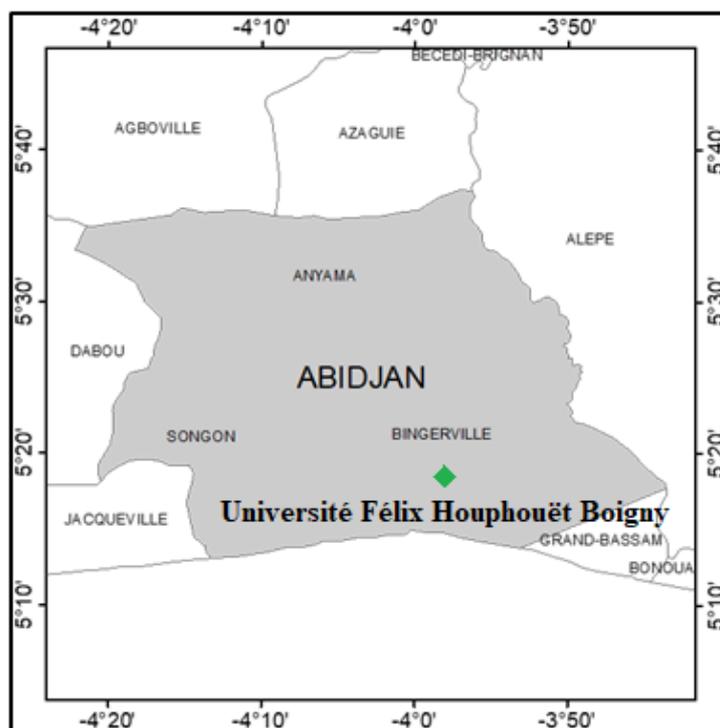


Figure 7 : Situation géographique de l'UFHB dans la ville d'Abidjan

#### 1.2.2.1.2. Cadre climatique

La ville d'Abidjan présente un climat de type subéquatorial chaud et humide marqué par quatre saisons. Selon Djossou (2018), les saisons se subdivisent comme suit :

- une grande saison des pluies d'Avril à Juillet ;
- une petite saison sèche d'Août à Septembre ;
- une petite saison pluvieuse d'Octobre à Novembre ;
- une grande saison sèche de Décembre à Mars.

Les précipitations sont abondantes avec plus de 1500 mm/an. En saison des pluies, il peut pleuvoir sans cesse pendant plusieurs jours de suite suivi par un très fort ensoleillement. La température est presque toujours à environ 27°C. L'humidité relative annuelle est supérieure à 80%.

#### 1.2.2.2. Présentation de la zone urbaine de Korhogo

##### 1.2.2.2.1. Cadre géographique

Korhogo est la quatrième ville de la Côte d'Ivoire en terme de population et d'économie et elle est située au nord du pays à 635 km de la capitale économique (Abidjan). Elle est le chef-lieu du district des Savanes et de la région du Poro. Elle est située entre 9°50' et 9°20' de latitude Nord et 5° 50' et 5° 30' de longitude Ouest (Figure 8). La ville compte plus de 225.700 habitants

(INS, 2015). La ville de Korhogo est l'une des plus importantes villes du nord et se caractérise par un niveau moyen d'industrialisation et d'infrastructures routières.



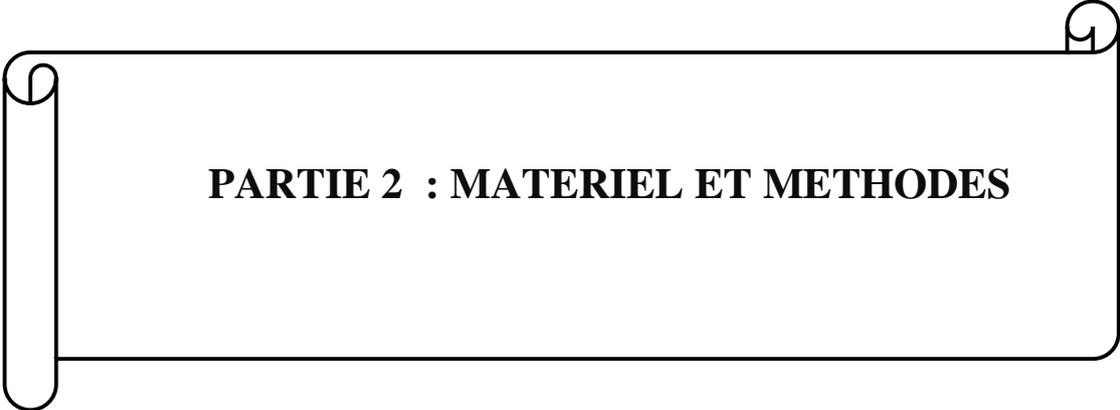
Figure 8 : Situation géographique de l'UPGC dans la ville de Korhogo

#### 1.2.2.2. Cadre climatique

La ville de Korhogo fait partie du système climatique tropical de type soudanais (chaud et sec) dont le rythme des saisons est influencé par le déplacement du front intertropical (FIT). Le climat est caractérisé par une alternance de deux saisons :

- la grande saison sèche (Novembre à Avril) est très marquée par l'Harmattan qui est un vent sec en provenant du Sahara ;
- la saison de pluie s'étend de Mai à Octobre avec une pluviométrie maximale de Juillet à Septembre ;

Les températures moyennes mensuelles varient entre 20°C et 40°C.



**PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES**

## 2.1. Matériel

Le matériel utilisé est constitué d'appareils photométriques in situ, de logiciels informatiques et de données hydro-climatiques issues des deux différents sites.

### 2.1.1. Matériel de terrain

Les mesures photométriques ont été effectuées à l'aide de deux photomètres manuels de type Calitoo en raison d'un par site (Figure 9). Les photomètres sont livrés calibrés. Le Calitoo est un photomètre qui permet de déterminer le taux d'aérosols présents dans l'atmosphère et de caractériser leur répartition en taille.

Pour ce faire, le photomètre mesure l'épaisseur optique d'aérosols suivant trois (3) filtres centrés sur des longueurs d'onde différentes : 619 nm (rouge), 540 nm (vert) et 465 nm (bleu). Le photomètre est aussi équipé d'un GPS, d'un capteur de pression et de température. Ce type de photomètre solaire permet une caractérisation locale des aérosols présents dans la ligne de visée. Il présente également l'avantage d'être ponctuel avec une bonne couverture temporelle.



Figure 9 : Photomètre Calitoo

Le photomètre Calitoo a les caractéristiques techniques suivantes :

- les canaux de mesure de 465, 540 et 619 nm ;
- 999 mesures possibles en mémoire ;
- calcul des épaisseurs optiques immédiates ;
- transfert des données par port USB ;

- logiciel PC fourni ;
- alimentation avec 4 piles AA de 1,5V ;
- dimensions de 210 x 100 x 35 mm ;
- poids de 400 g (Avec les piles) ;
- température de fonctionnement qui fluctue entre -20°C à +55°C.

### **2.1.2. Données**

Les données utilisées sont issues des stations des deux sites d'études et des mesures directes de terrain.

- Les données pluviométriques utilisées sont celles de la station d'Abidjan (UFHB) et de Korhogo (UPGC). Elles concernent la pluviométrie mensuelle de l'année 2019.
- Les données de température sont issues des mesures directes de terrain, prises au même moment que les épaisseurs optiques d'aérosols par le photomètre sur chacun des sites à partir du photomètre Calitoo entre 12h et 14h.

### **2.1.3. Logiciels**

- Modèle HISPLIT téléchargeable pour l'obtention des rétro-trajectoires de masses d'air ;
- Logiciel Calitoo pour la récupération des données photométriques ;
- Excel pour le traitement statistique des données ;

## **2.2. Méthodes**

### **2.2.1. Collecte des données**

Les mesures photométriques ont été effectuées de Mars 2018 à Décembre 2019 en ce qui concerne la ville d'Abidjan et d'Octobre 2018 à Décembre 2019 pour la ville de Korhogo. Les données sont issues d'une série de cinq mesures en moyenne par jour pendant des intervalles de temps n'excédant pas 5 min entre 12h et 14h pendant les jours ensoleillés et les mesures sont effectuées lorsque le ciel est dégagé de tout nuage. L'épaisseur optique des aérosols ou profondeur optique (AOT) est une mesure qui détermine jusqu'à quel point les aérosols vont affecter le passage de la lumière du soleil dans l'atmosphère. Plus cette épaisseur optique est importante pour une certaine longueur d'onde, moins la lumière atteindra la surface de la terre pour cette longueur d'onde donnée.

Le photomètre Calitoo évalue l'intensité du rayonnement solaire qui parvient à son objectif et présente en sortie l'épaisseur optique des aérosols dans la colonne atmosphérique. La mesure consiste à enregistrer le maximum d'épaisseur optique en aérosols. Pour ce faire, dès l'instant

où le point de mesure est repéré par le GPS de l'appareil, l'opérateur doit se positionner face au soleil et pointer correctement son photomètre vers le soleil afin de rechercher le maximum du flux pendant environ 1 minute. L'appareil dispose d'un capteur photovoltaïque qui produit une tension électrique proportionnelle au maximum de l'éclairement solaire qui passe à travers ses collimateurs.

L'interaction entre les rayonnements solaires et les aérosols se traduit par la loi de Beer-Lambert appliquée à l'atmosphère. Cette loi s'écrit suivant l'équation (5) :

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot \exp(-m(\tau_a + \tau_g + \tau_{NO_2} + \tau_w + \tau_{O_3} + \tau_r)) \quad (5)$$

$I_0$  : intensité de la lumière solaire hors atmosphère

$I$  : Intensité de lumière reçue au sol

$\lambda$  : la longueur d'onde de la lumière

$\tau_a$  : coefficient de transparence des aérosols

$\tau_g$  : coefficient de transparence des gaz (CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>)

$\tau_{NO_2}$  : coefficient de transparence du dioxyde d'azote

$\tau_w$  : coefficient de transparence de la vapeur d'eau

$\tau_{O_3}$  : coefficient de transparence de l'ozone

$\tau_R$  : coefficient de la diffusion Rayleigh

$m$  : coefficient de la masse d'air traversée par la lumière (chemin optique)  $m = 1/\sin(\theta)$  avec  $\theta$  l'angle de la position du soleil avec l'horizon

Dans le domaine des longueurs d'onde considérées par le photomètre Calitoo, la transmission liée aux gaz (CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>) et à la vapeur d'eau est négligeable. La contribution de l'ozone est prise en compte grâce aux données fournies par des instruments montés sur satellites tel que Total Ozone Mapping Spectrometre (TOMS). Le coefficient  $\tau_{O_3}$ , est fourni par le Laboratoire d'Optique Atmosphérique (LOA) pour les longueurs d'onde verte et rouge. Ce coefficient est nul pour le bleu.

Le coefficient de Rayleigh est proportionnel au rapport de pression atmosphérique mesurée au point d'observation et celle mesurée au niveau de la surface de la mer (équation 6)

$$\tau_r = a_R \cdot \frac{p}{p_0} \quad (6)$$

L'équation (5) se simplifie et devient :

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot \exp(-m(\tau_a + \tau_r + \tau_{O3})) \quad (7)$$

Considérons CN la valeur directement proportionnelle à l'intensité lumineuse délivrée par le photomètre. Appelons CN<sub>0</sub> la valeur que donnerait notre photomètre, pour une mesure de l'intensité lumineuse hors atmosphère à 1 UA (Unité Astronomique). 1UA correspond à la distance moyenne Terre-Soleil et vaut 150 millions de kilomètres du Soleil.

En introduisant un terme correctif prenant en compte la distance Terre Soleil qui varie en fonction du jour de l'année. Avec r<sub>0</sub>, la distance de 1 UA et r la distance Terre-Soleil à la date de la mesure (en UA). On a :

$$CN = \left[\frac{r_0}{r}\right]^2 \cdot CN_0 \exp\left(-m\left(\tau_a + a_R \cdot \frac{p}{p_0} + \tau_{O3}\right)\right) \quad (8)$$

$$\ln(CN) - \ln\left(CN_0 \cdot \left[\frac{r_0}{r}\right]^2\right) = -m\left(\tau_a + a_R \cdot \frac{p}{p_0} + \tau_{O3}\right) \quad (9)$$

$$\tau_a = \frac{\left[\ln\left(CN_0 \cdot \left[\frac{r_0}{r}\right]^2\right) - \ln(CN)\right]}{m} - a_R \cdot \frac{p}{p_0} - \tau_{O3} \quad (10)$$

Pour le photomètre Calitoo, les a<sub>R</sub> sont calculés pour chaque longueur d'onde. Les valeurs sont consignées dans le tableau II.

Tableau II : Valeurs a<sub>R</sub> en fonction des longueurs d'ondes

longueur d'onde (μm)	a <sub>R</sub> calculé
0,465	0,1949
0,54	0,10637
0,619	0,06119

Ces valeurs sont enregistrées dans la mémoire de l'appareil et téléchargées périodiquement sur un ordinateur grâce au logiciel d'acquisition Calitoo.

La valeur des épaisseurs optiques d'aérosols (sans unité) est généralement comprise entre 0 et 1 dans le Caraïbe, et jusqu'à 4 en Afrique (Euphrasie, 2018). La présence de poussières désertiques est généralement associée aux AOD ≥ 0.2 (Smirnov *et al.*, 2000 ; Dubovik *et al.*, 2002 ; Velasco-Merino *et al.*, 2018). A proximité immédiate des sources d'émission de poussières en Afrique, les valeurs d'épaisseurs optiques d'aérosols peuvent atteindre la valeur de 4.

### 2.2.2. Usage du model HISPLIT

Dans le but de prendre en compte tous les facteurs influençant les émissions d'aérosols, nous avons recours aux retro-trajectoires issues du model HISPLIT téléchargeable sur le site <https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>. Ces rétro-trajectoires illustrent la provenance des particules en reconstituant le trajet des masses d'air depuis leurs origines jusqu'au site de mesures. Dans le cadre de cette étude, ces masses d'air seront repérées à 500 m, 1000 m et 1500 m d'altitude au-dessus du sol sur 3 jours aux environs de 13 h pour chaque site.

### 2.2.3. Traitements des données

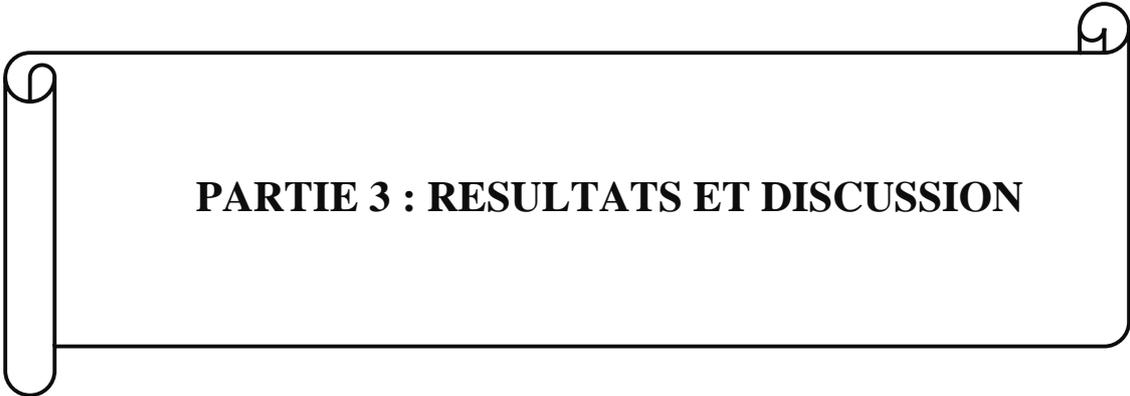
Les données recueillies à partir du logiciel Calitoo sont parfois entachées de lacunes qu'il convient de corriger pour un meilleur usage. Plusieurs méthodes de correction des données issues du photomètre peuvent être effectuées.

Le tracé des courbes des données brutes a permis de constater des incohérences dans les données enregistrées. Cela a conduit à l'élimination des valeurs douteuses ; c'est-à-dire des valeurs trop élevées ou trop faibles et des valeurs de signes négatifs. Ce travail basé sur l'observation a consisté à comparer les valeurs d'une même journée entre elles puis avec celles des jours qui l'encadrent. Dans une série de cinq mesures ou plus, seules les valeurs dont la différence avec la plus petite valeur mesurée est inférieure ou égale à 0,04 ont été retenues (Bodjrenou, 2016). D'un jour à un autre, une variation spontanée et non continue est imputée à une donnée douteuse sauf si la même observation est faite à la station voisine.

Une autre approche de l'élimination des valeurs aberrantes a été de ne garder que les maximums parmi les cinq mesures de la journée. Suite à ces tris, une comparaison est effectuée entre les amplitudes et la moyenne arithmétique de la journée.

Une dernière approche d'élimination des valeurs erronées a été de ne garder que les maximums bruts parmi les mesures de la journée. Nous considérons ici que le maximum correspond à la bonne visée du soleil. C'est cette deuxième approche qui a été utilisée dans le tri des données de ce travail.

La suite du traitement des données qui consiste à effectuer des moyennes journalières et mensuelles des mesures de profondeur optique d'aérosols et de coefficient d'Angström s'est effectuée sur Excel.



**PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION**

### 3.1. Résultats

#### 3.1.1. Variation de la pluie et de la température sur les deux sites durant la période de l'étude

##### 3.1.1.1. Pluie et température enregistrées sur le site d'Abidjan

Les courbes de variations mensuelles de la température et des hauteurs de pluie pour l'année 2019 de la ville d'Abidjan font apparaître les deux saisons de pluie respectivement d'Avril à Juillet pour la grande saison et de Septembre à Novembre pour la petite saison. Les deux saisons sèches sont également bien représentées de Décembre à Mars pour la grande et le mois d'Août pour la petite saison.

Les données de température de certains mois ne sont pas disponibles car non mesurées. En effet, compte tenu de la couverture nuageuse durant ces mois, il a été impossible d'effectuer les mesures photométriques (Figure 10). Les valeurs moyennes mensuelles de température varient de 25,33°C à 29,75°C et celles de la pluviométrie de 0 à 217,5 mm. Les plus fortes valeurs de température sont obtenues en période de saison sèche (Novembre-Mars) contrairement à la pluviométrie dont on enregistre les plus faibles hauteurs allant de 0 mm (Janvier) à 25,5 mm (Mars) durant la même période. Le mois d'Avril est un mois de transition entre les saisons sèche et humide. A partir du début de la saison humide au mois de Mai, la température baisse à 27°C. De même, lors de la petite saison humide (Septembre-Novembre) les valeurs de la température sont comprises entre 25°C et 27°C.

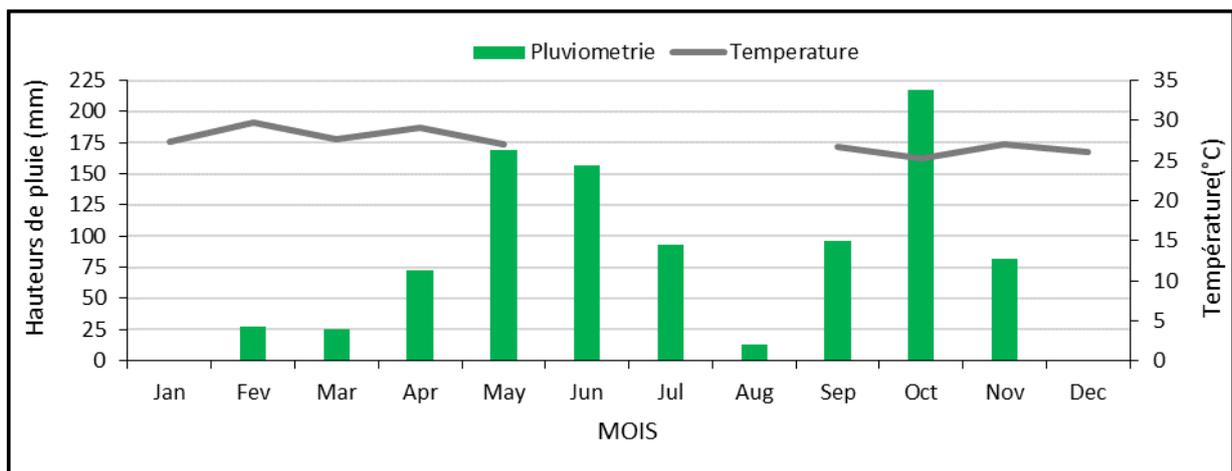


Figure 10 : Evolution mensuelle des hauteurs de précipitations et des températures enregistrées sur le site d'Abidjan en 2019.

### 3.1.1.2. Pluie et température enregistrées sur le site de Korhogo

L'évolution de la pluviométrie fait ressortir les deux saisons : de Mai à Octobre pour la saison humide et de Novembre à Avril pour la saison sèche. Le mois le plus pluvieux est le mois d'Août avec une hauteur de 396,2 mm. On remarque également des températures très élevées (comprises entre 29° C et 33°C) tout le long de l'année 2019. Les trois premiers mois de l'année (Janvier-Mars) sont caractérisés par de très faibles précipitations et les valeurs de température sont les plus faibles même si elles augmentent à partir du mois de Février. Cependant en début de saison sèche (Novembre-Décembre), on observe un pic de chaleurs avec une température moyenne de 32,25°C au mois de Novembre (Figure 11).

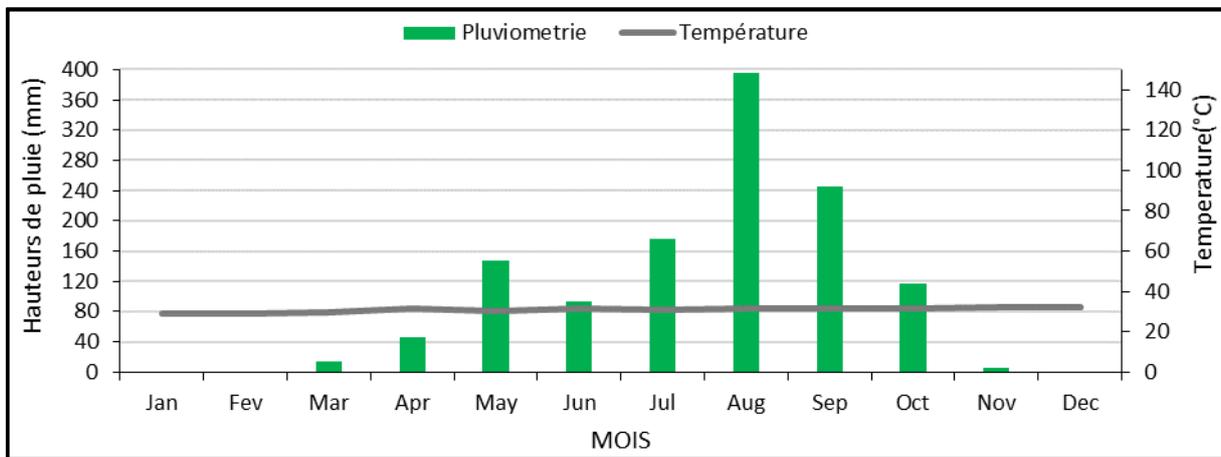


Figure 11 : Evolution mensuelle des hauteurs de précipitations et des températures enregistrées sur le site de Korhogo

### 3.1.2. Evolution spatio-temporelle des épaisseurs optiques d'aérosol

#### 3.1.2.1. Évolution temporelle des AOT dans la ville d'Abidjan

L'étude de l'évolution temporelle des moyennes mensuelles des épaisseurs optiques d'aérosols pour chacune des longueurs d'ondes s'est faite de Mars 2018 à Décembre 2019. Les valeurs du site d'Abidjan fluctuent entre 0,23 et 0,86 pour AOT465 (bleue) (Figure 12).

Les plus fortes valeurs sont observées en saison sèche entre Décembre 2018 et Mars 2019 avec des valeurs supérieures à 0,5. La profondeur optique maximale est enregistrée durant cette période plus précisément au mois de Décembre 2018. Par la suite une décroissance progressive est observée jusqu'au mois de Mai (valeur minimale) qui marque le début de la grande saison humide. L'absence de données de Juin à Août 2019 est due à la présence de couches nuageuses masquant le soleil et rendant impossible la prise de mesure. Les mesures sont reprises dès l'entame du mois de Septembre 2019 avec une valeur mensuelle AOT465 de 0,554 suivie de

faibles valeurs moyennes d'AOT465, comprises entre 0,3 et 0,4 enregistrées aux mois d'Octobre à Novembre (petite période pluvieuse).

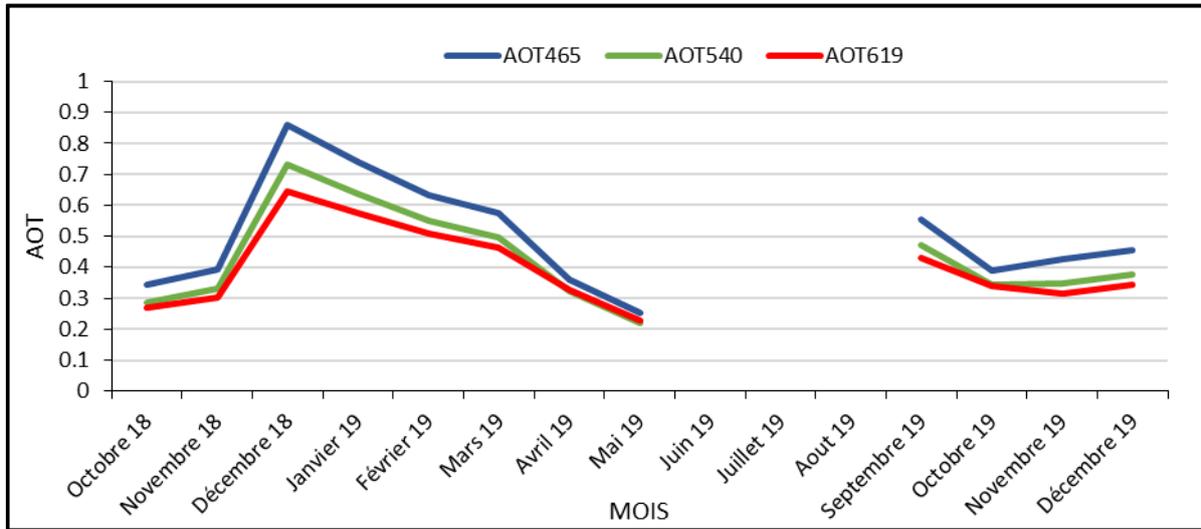


Figure 12 : Evolution des épaisseurs optiques d'aérosols à Abidjan

### 3.1.2.2. Évolution temporelle des AOT dans la ville de Korhogo

L'évolution temporelle de l'AOT est similaire pour les trois longueurs d'onde. Les valeurs des AOT sont comprises entre 0,34 et 0,75 pour précisément l'AOT 465 (bleue) dans la ville de Korhogo (Figure 13).

Durant la saison sèche (Novembre-Mai), les valeurs moyennes mensuelles augmentent régulièrement, à l'exception du mois de Janvier où l'on observe une baisse de l'AOT correspondant à la valeur minimale. Une valeur maximale d'épaisseur moyenne de 0,75 est enregistrée en Mars lors de cette période sèche. En Juin l'on observe une baisse considérable de l'AOT avec une valeur de 0,346. Par ailleurs, le mois de Juin 2019 correspond au début de la saison humide. L'AOT augmente légèrement au mois de Juillet 2019 avant de diminuer de façon progressive pendant le reste de la saison humide jusqu'au mois de Novembre 2019. Elle augmente ensuite à partir du mois de Décembre 2019.

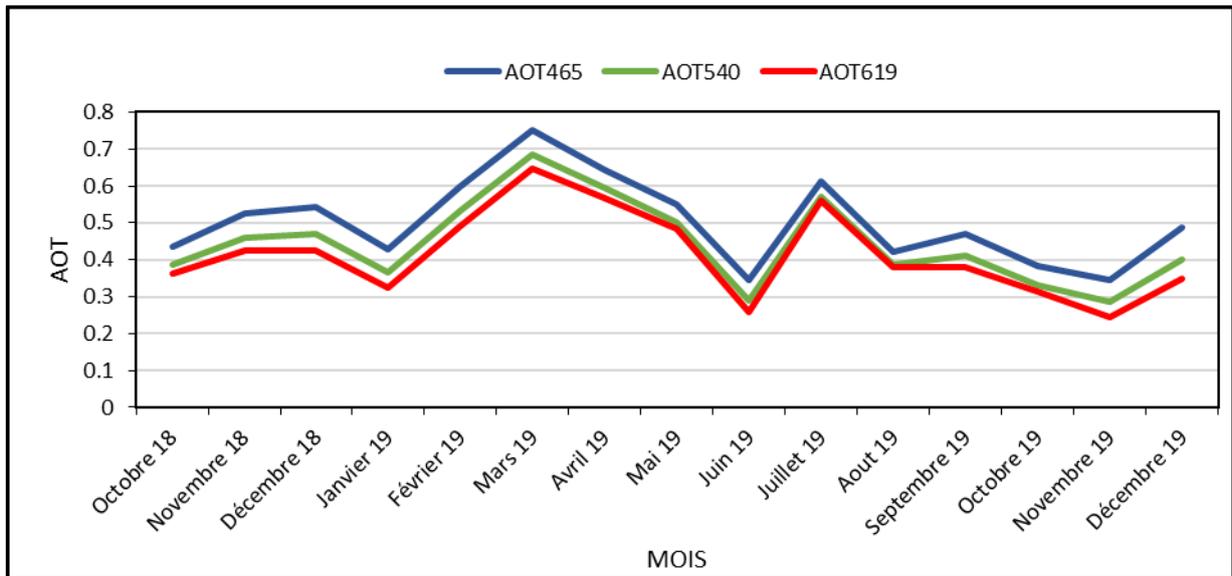


Figure 13 : Evolution des épaisseurs optiques d'aérosols à Korhogo

### 3.1.2.3. Comparaison de l'évolution des AOT des deux sites

L'évolution temporelle de l'AOT étant similaire pour les trois longueurs d'ondes, nous ne comparons que les AOT de la longueur d'onde 465 nm des deux sites (Figure 14).

Les courbes de variabilité temporelle des épaisseurs optiques d'aérosols (EOA) des milieux urbains d'Abidjan et de Korhogo présentent des valeurs élevées en saison sèche et faibles en saison humide quel que soit la zone. On constate qu'au dernier trimestre de l'année 2018, les valeurs à Korhogo sont légèrement plus élevées que celles de la ville d'Abidjan, à l'exception du mois de Décembre à partir duquel les valeurs d'épaisseurs d'Abidjan sont plus élevées que celles de Korhogo. Dès le début du mois de Février, il se produit une inversion des courbes avec les AOT de Korhogo supérieures à celles d'Abidjan jusqu'au mois de Mai. Par ailleurs, on observe une décroissance des AOT dans les deux zones durant la période Septembre, Octobre et Novembre 2019 et l'écart entre les valeurs des deux milieux est faible.

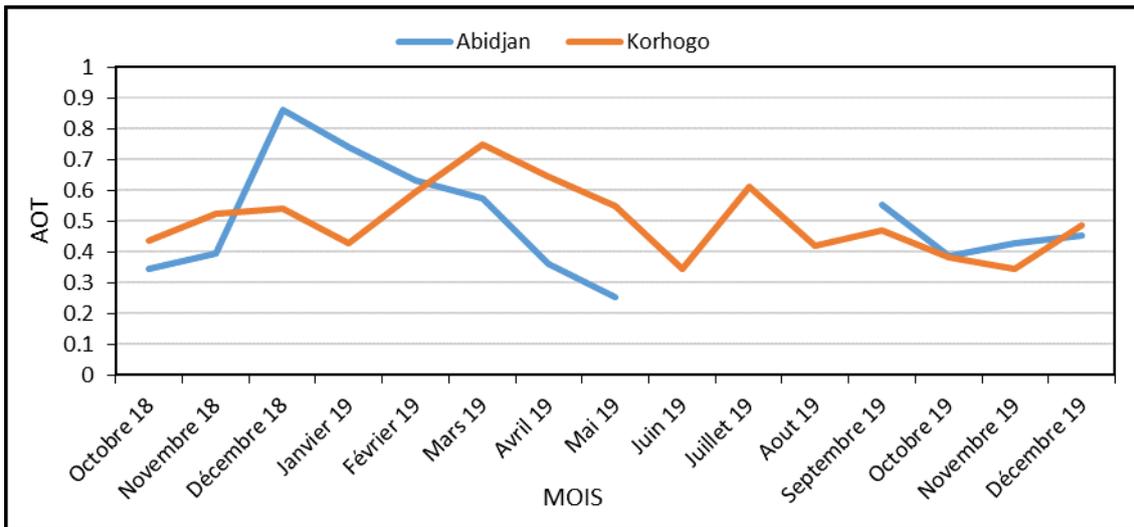


Figure 14 : Evolution comparée des épaisseurs optiques d'aérosols d'Abidjan et de Korhogo

### 3.1.3. Evaluation de l'influence des sources et des conditions

#### météorologiques sur l'évolution des AOT dans chacune des deux zones

##### 3.1.3.1. Evolution des AOT des deux sites en lien avec les paramètres météorologiques mesurés

###### 3.1.3.1.1. Impact de la pluie sur les AOT

L'analyse de l'influence des précipitations sur l'évolution des épaisseurs optiques d'aérosols aux différentes longueurs d'ondes a montré qu'en absence de précipitations ou lorsqu'elles sont faibles, les valeurs d'AOT mensuelles mesurées sont élevées (supérieures à 0,5). Ces valeurs atteignent leurs maximums en Janvier et Mars respectivement pour la ville d'Abidjan et de Korhogo.

En période de fortes précipitations (saison des pluies), les valeurs des épaisseurs optiques mensuelles diminuent tout au long de cette période pluvieuse. Ces évolutions des AOT à Abidjan et à Korhogo sont illustrées par la figure 15.

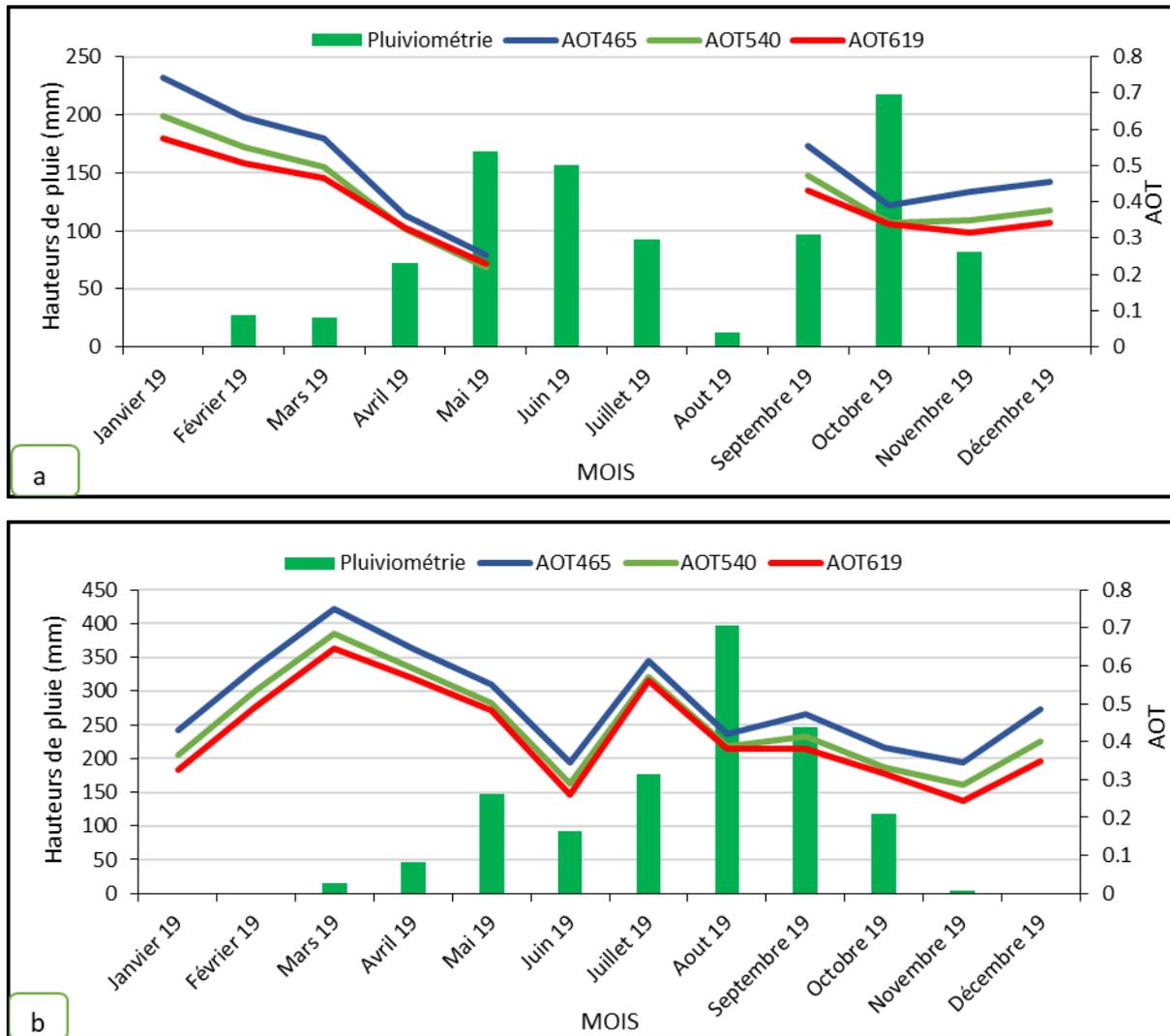


Figure 15 : Evolution comparée des AOT et des précipitations à Abidjan (a) et Korhogo (b)

### 3.1.3.1.2. Effet de la température sur les AOT

Les variations de température et d'AOT à Abidjan et à Korhogo tout au long de l'année 2019 sont illustrées par la figure 16 ci-dessous. Notons que les valeurs de température sont plus élevées dans le Nord (Korhogo) que dans le Sud (Abidjan).

Dans la zone d'Abidjan, les valeurs d'épaisseurs baissent de Janvier à Mai pendant que la température présente d'importantes fluctuations. De Septembre à Décembre les valeurs des températures sont faibles, les valeurs d'AOT baissent légèrement de Septembre à Octobre avant de croître progressivement jusqu'au mois de Décembre.

Dans la ville de Korhogo, on remarque une évolution inverse des épaisseurs optiques d'aérosols et de la température quelle que soit la saison.

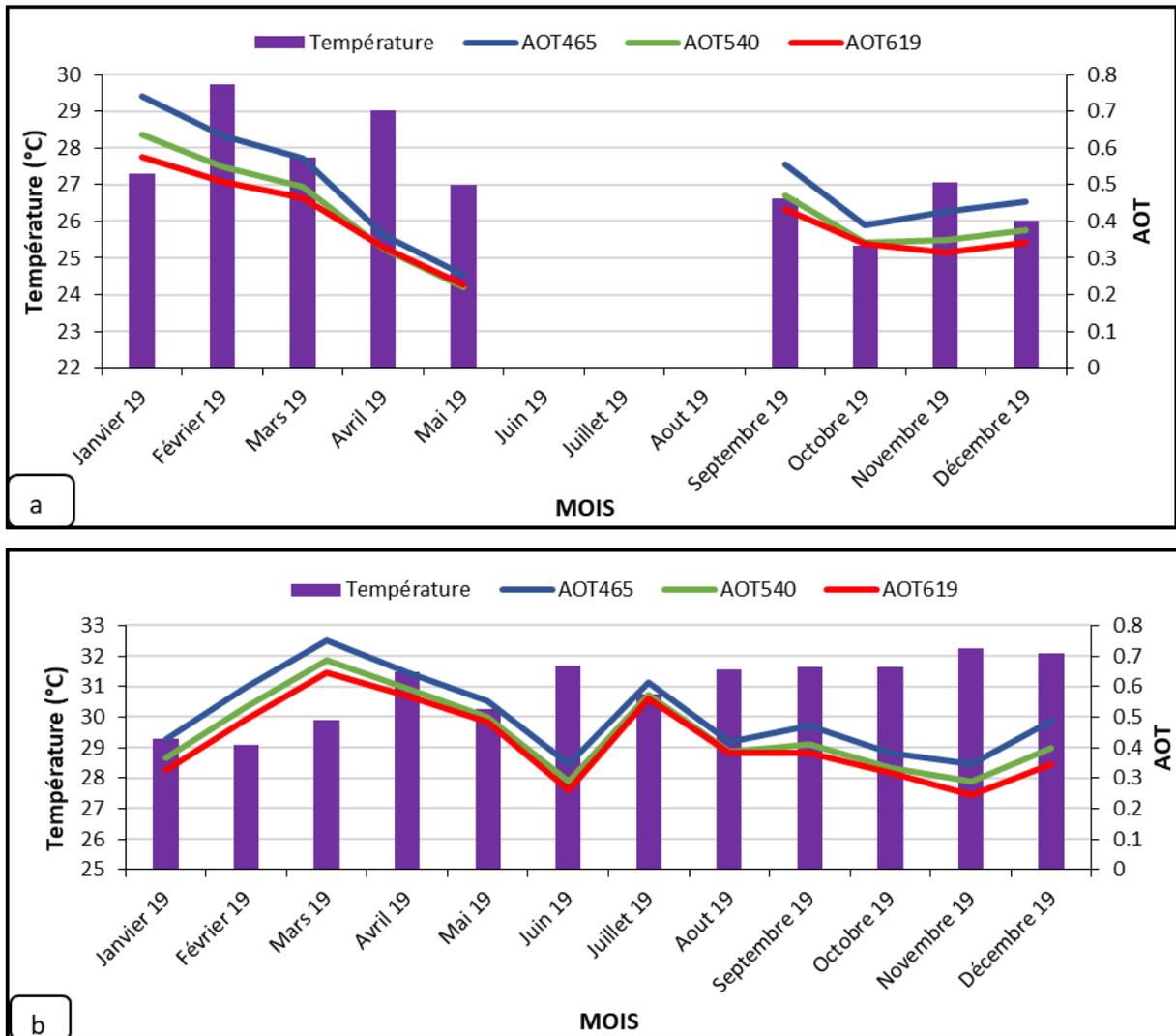


Figure 16 : Evolution comparée des AOT et des températures à Abidjan (a) et Korhogo (b)

### 3.1.3.2. Influence des masses d'air sur les AOT

Pour la présente étude, les retro-trajectoires des masses d'air ont été déterminées pour chaque site aux altitudes de 500 m, 1000 m et 1500 m. Cette détermination s'est effectuée sur trois jours à partir des extremums d'AOT aussi bien en saison humide qu'en saison sèche. Ces masses d'air traversent plusieurs régions en se chargeant d'aérosols naturels qui s'ajoutent aux émissions anthropiques déjà majoritaires dans l'atmosphère.

#### 3.1.3.2.1. Retro-trajectoires des masses d'air de la ville d'Abidjan

Les trajectoires des vents montrent qu'en saison sèche les masses d'air proviennent de différentes origines selon l'altitude (Figure 17). Aux plus basses altitudes (500 m et 1000 m), les particules sont issues de l'océan (embruns marins). Aussi à 1500 m d'altitude, les particules proviennent principalement des zones continentales et désertiques.

Lors de la saison humide, l'on observe uniquement des advections océaniques quelle que soit l'altitude (Figure 18). Ces vents sont dus à l'alizé austral (flux de mousson) qui balaie l'Afrique de l'ouest, du sud vers le nord en cette période pluvieuse.

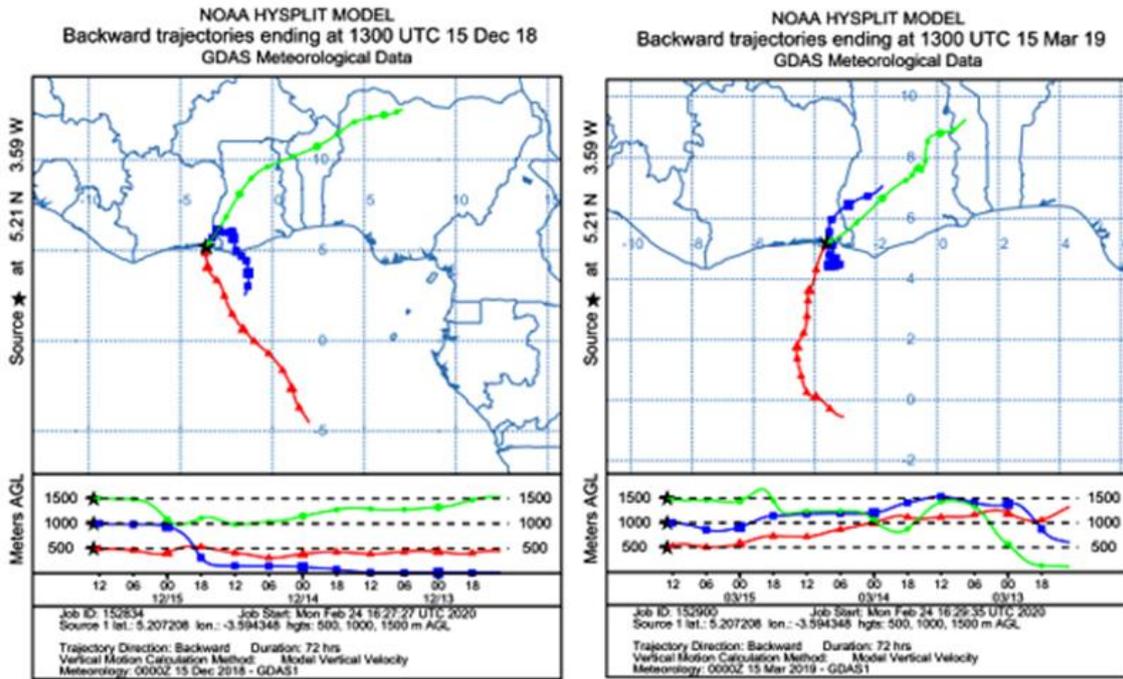


Figure 17 : Rétro-trajectoires des aérosols à Abidjan en période de saison sèche

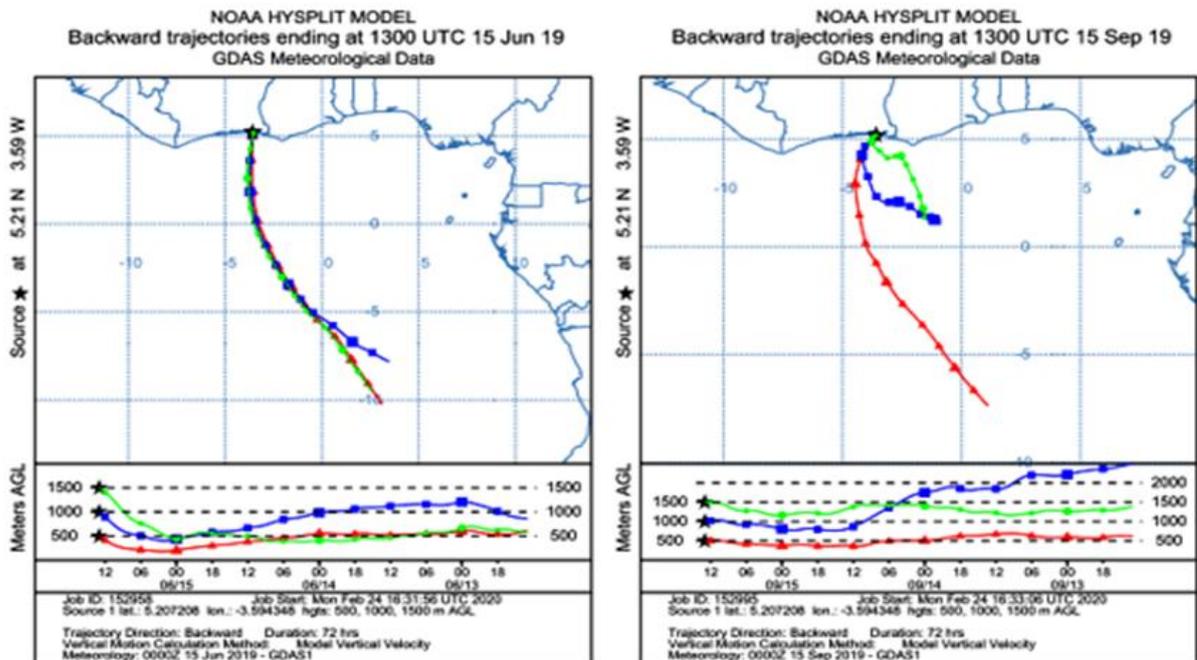


Figure 18 : Rétro-trajectoires des aérosols à Abidjan en période de saison humide

### 3.1.3.2.2. Retro-trajectoires des masses d'air de la ville de Korhogo

La ville de Korhogo est dominée en saison sèche par les vents de l'alizé boréal encore appelés Harmattan. En effet, cette période de l'année est caractérisée par des vents qui proviennent du Niger (ou de l'Algérie) quelle que soit l'altitude. Cette période couvre les mois de Décembre à Mars (Figure 19).

La saison humide est quant à elle caractérisée dans cette zone par des advections océaniques de basses altitudes (500 m) dues au flux de la mousson et par des vents continentaux issues des régions d'Afrique voisines (Figure 20) à des altitudes de 1000 m et 1500 m.

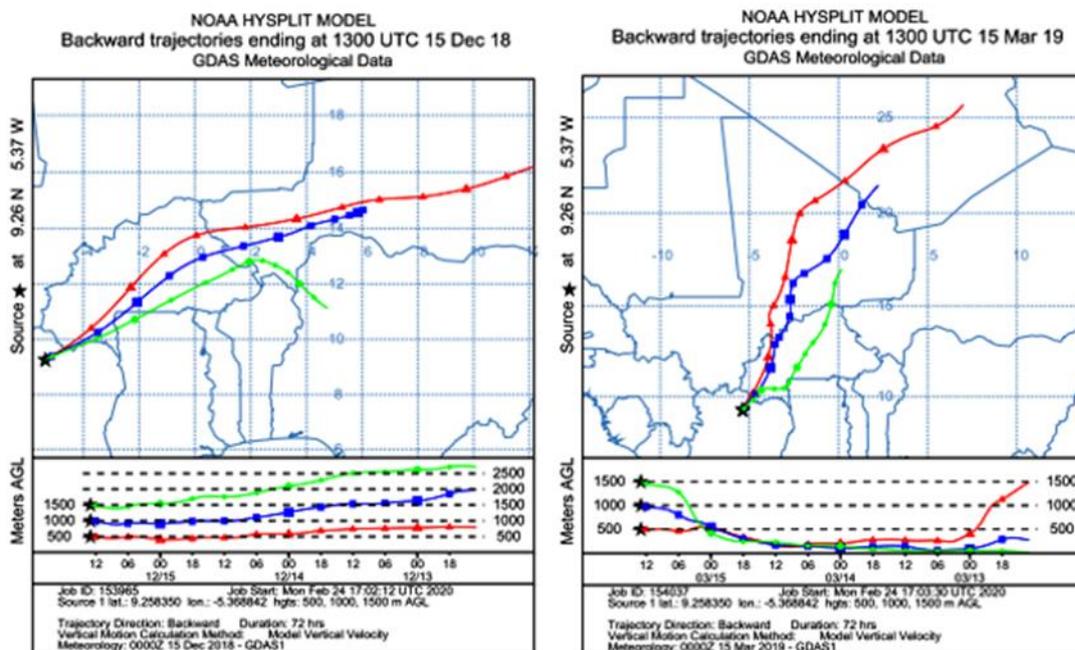


Figure 19 : Rétro-trajectoires des aérosols à Korhogo en période de saison sèche

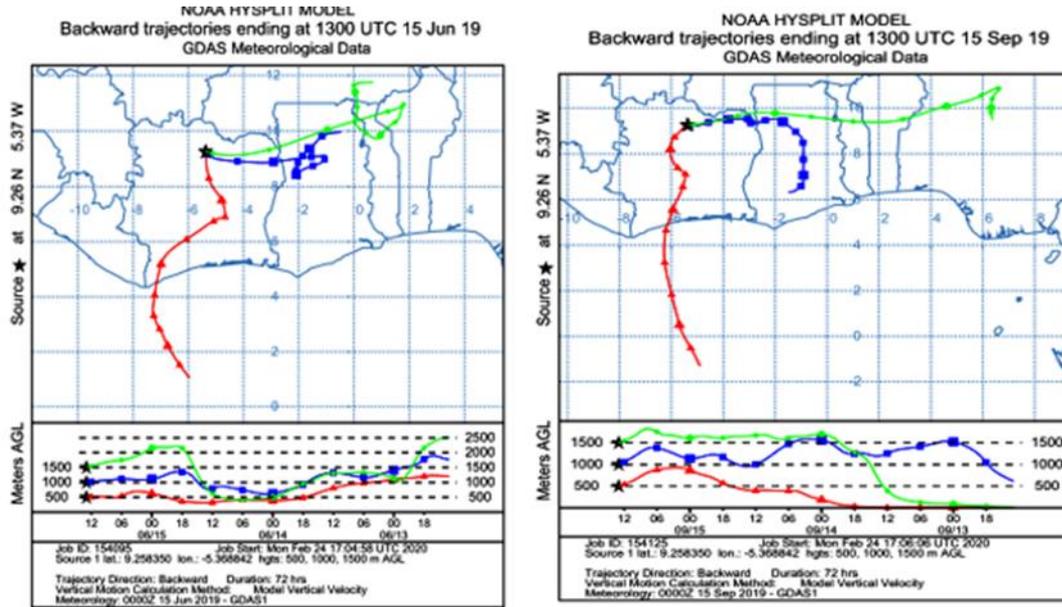


Figure 20 : Rétro-trajectoires des aérosols à Korhogo en période de saison humide

### 3.1.4. Comparaison des AOT et des concentrations des PM

Dans l’objectif de connaître le type de particules associées à l’évolution des épaisseurs optiques à Abidjan et à Korhogo, les coefficients d’Angström calculés à partir des longueurs d’ondes 465 nm, 560 nm et 619 nm ont été analysés. Les valeurs des coefficients d’Angström varient respectivement de 0,50 à 1,51 et 0,329 à 1,051 à Abidjan et à Korhogo.

#### 3.1.4.1. Evolution temporelle des AOT et de l’exposant d’Angström à Abidjan

Quatre courbes superposées sont présentées dans un même graphe. Les courbes en rouge, bleu et vert représentent l’évolution temporelle de l’AOT et celle en jaune représente l’évolution moyenne de l’exposant d’Angström sur la période d’étude.

L’analyse de l’évolution du coefficient d’Angström se fera pour la ville d’Abidjan à partir de Mars 2019 du fait de l’absence de données. Ces variations sont présentées par la Figure 21. La zone sud est caractérisée par de faibles valeurs de l’exposant d’Angström lors de la saison sèche (Mars-Avril) et (Septembre-Octobre) avec des valeurs inférieures à 1. Cependant, dès l’entame de la saison humide en mi-Mai, il se produit une inversion des courbes d’AOT et d’alpha. De fortes valeurs d’alpha sont observées en Novembre-Décembre 2019, période de la petite saison humide tandis que celles des épaisseurs optiques d’aérosols restent très faibles (inférieures à 0,5).

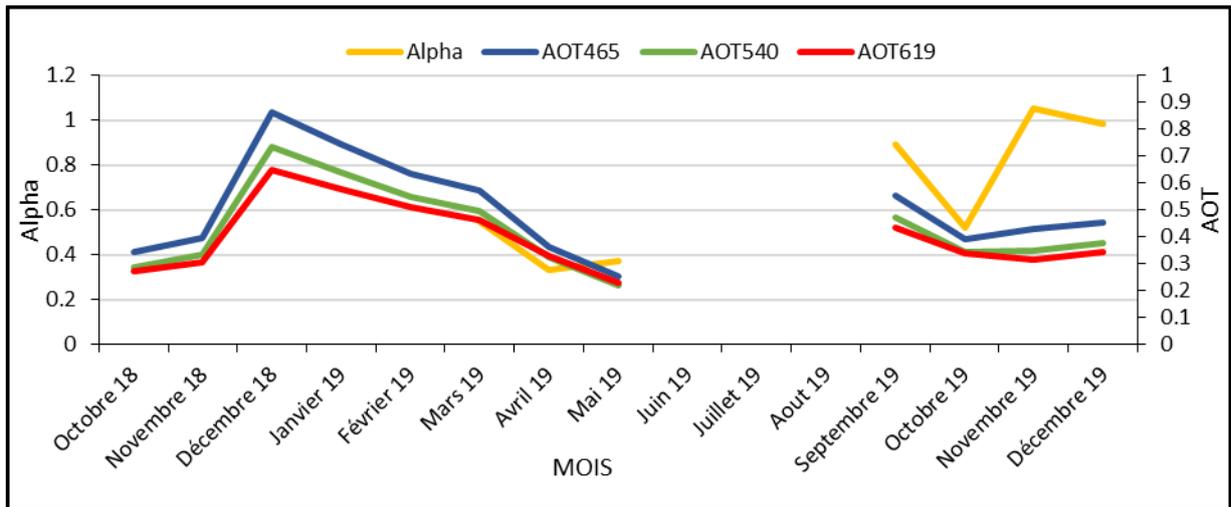


Figure 21 : Evolution temporelle des AOT et de l'exposant d'Angström à Abidjan

### 3.1.4.2. Evolution temporelle des AOT et de l'exposant d'Angström à Korhogo

Les variations mensuelles des AOT suivant les trois longueurs d'onde ainsi que le coefficient d'Angström (alpha) dans la zone urbaine de Korhogo (zone nord) durant la période de mesure sont illustrées par la figure 22. L'analyse de ces courbes suggère que les épaisseurs optiques d'aérosols et alpha ont des évolutions inverses tout le long de la période. En saison sèche, de Février à Mai 2019, les valeurs d'alpha sont très faibles (inférieures à 1). Contrairement à la saison humide où l'AOT présente des faibles valeurs aux mois de Juin et Septembre-Novembre, le coefficient d'Angström quant à lui présente des valeurs élevées avec un maximum 1,52 au mois Septembre 2019. Ces valeurs sont supérieures à 1 en cette période de l'année. Le constat est le même en 2018 lors de la saison sèche (Novembre-Décembre) où les valeurs d'alpha sont également faibles.

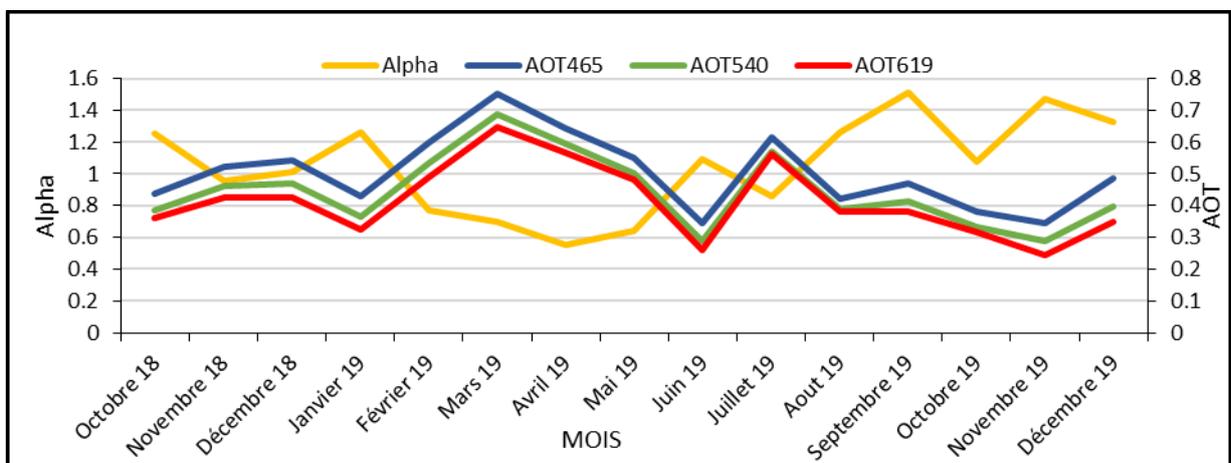


Figure 22 : Evolution temporelle des AOT et de l'exposant d'Angström à Korhogo

### 3.2. Discussion

L'analyse des variations des épaisseurs optiques sur les deux sites d'étude nous indique qu'en saison sèche, il existe une forte concentration d'aérosols dans l'atmosphère tandis qu'en saison humide cette distribution de charge d'aérosols diminue.

L'étude comparative de l'évolution des conditions météorologiques (pluie et température) et celle des AOT suggère un lien entre elles.

L'étroite relation qui existe entre la pluie et les épaisseurs optiques s'explique par leur effet sur les aérosols. En effet, les précipitations peuvent affecter les aérosols, en particulier les particules de poussière de différentes manières : (i) elles éliminent les aérosols en diminuant leur concentration dans l'atmosphère à travers le processus de lessivage (rainout/washout), (ii) l'augmentation de l'humidité du sol en supprimant les émissions de poussières induites par les vents. De plus, elles améliorent la croissance de la végétation qui pourrait minimiser les émissions de poussières (Aklesso *et al.*, 2018).

Singh (2000) a également rapporté que les précipitations peuvent modifier significativement les concentrations d'aérosols et leur distribution en taille. Par ailleurs, (Aklesso *et al.*, 2018) ont trouvé une relation plus ou moins inverse entre les AOD et les précipitations, soutenue par une corrélation de -0,74, -0,65 et -0,59 sur le Ghana, le Togo et le Bénin. En effet, en absence de pluie, les aérosols s'accumulent dans l'atmosphère ; ce qui explique la quantité importante d'aérosols dans l'atmosphère.

La situation particulière observée à Abidjan de Décembre à Février serait au moins partiellement due à la situation météorologique d'une part et à l'activité des principales sources de particules, d'autre part. Concernant l'activité des sources, la principale source d'émissions de particules à Abidjan est la source liée au trafic (Doumbia *et al.*, 2018 ; Keita *et al.*, 2018), qui contribue de manière significative à l'augmentation de la charge d'aérosols (particules fines). Quant à la situation météorologique, il faut souligner que la dispersion des polluants est moindre durant cette période de l'année qui est généralement caractérisée par peu de vent et de fortes inversions de températures au sol plus fraîches qu'en altitude, créant un couvercle d'air plus chaud sous lequel s'accumulent les polluants au lieu d'être dispersés dans l'atmosphère (Kecenelenbogen-Tilot, 2008). De plus, des températures et une humidité relative plus élevées pendant ces mois pourraient intensifier la croissance hygroscopique des aérosols et les procédés de conversion de gaz en particules pour générer plus d'aérosols secondaires d'origine anthropique (Floutsi *et al.*, 2016 ; Kang *et al.*, 2016). Enfin, la diminution des AOT peut s'expliquer par la remontée du flux de mousson chargé de particules de sel de mer, de l'océan

Atlantique vers le continent. Cette dernière observation est cohérente avec 3 jours de rétro trajectoires vers les zones sources de la figure 18.

Les courbes d'évolution de la température montrent que des valeurs d'AOT sont plus élevées dans le Nord sur tout le long de l'année par rapport à la zone sud. Ce qui pourrait s'expliquer par une présence d'aérosols diffusants (aérosols désertiques) tout le long de l'année dans la ville de Korhogo par rapport à la ville d'Abidjan.

Il s'agissait ici d'analyser l'impact des aérosols sur la température de la colonne atmosphérique au cours de l'année. Par absorption du rayonnement solaire incident, les poussières réchauffent l'atmosphère dans la partie supérieure du panache et la refroidissent en-dessous. L'interaction des aérosols désertiques avec le rayonnement électromagnétique dépend de leur dimension, de leur forme, de leur composition et de leur distribution. Or pendant le transport, les poussières désertiques subissent des transformations par différents processus physiques et chimiques (conversions gaz-particules, coagulations avec d'autres types d'aérosols, etc.) affectant ainsi leur distribution spatiale, leur granulométrie, leurs propriétés physiques, chimiques et optiques et par conséquent modifient leur influence sur le climat, la météorologie, la santé et les écosystèmes. De ce fait, le forçage radiatif des aérosols désertiques est très difficile à estimer (Kochac, 2011).

Dans la zone côtière (Abidjan), la concentration d'aérosol baisse de Janvier à Mai avec l'apparition des premières précipitations tandis que la température présente d'importantes fluctuations. Par ailleurs, on observe qu'en saison humide, les AOT et la température évoluent de la même manière : il y a donc une prédominance d'aérosols carbonés qui absorbent le rayonnement solaire (effet radiatif négatif) tandis qu'en saison sèche, elles sont inversement proportionnelles (température élevée) traduisant ainsi la présence de particules diffusantes issues des sources terrigènes. S'ajoutent également des particules absorbantes en faibles quantités.

Pour la ville de Korhogo, nous remarquons une évolution inverse des AOT et de la température quelle que soit la saison. En saison sèche, les températures sont basses tandis que les épaisseurs optiques restent élevées. En effet, cela s'explique par le fait qu'en présence d'une quantité importante de particules dans l'atmosphère, le rayonnement solaire atteint faiblement la couche terrestre, et cela est dû à l'effet radiatif négatif des aérosols ; ce qui refroidit l'atmosphère. En revanche, lors de la saison humide, les températures sont plus élevées. Cela se produit en partie grâce au mécanisme de lessivage des aérosols diminuant ainsi leur effet sur la température terrestre. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par (Diarra & Ba, 2014) au Mali.

Les résultats de Kochac (2011) suggèrent que dans des conditions de tempête générée par un front froid, comme celle de mars 2006, l'épaisseur optique des poussières dépasse 4 et entraîne une réduction de  $34\text{W/m}^2/\text{AOD}$  du rayonnement visible et une augmentation de  $25\text{W/m}^2/\text{AOD}$  du rayonnement infrarouge à la surface résultant en un chauffage de  $2^\circ\text{C}$  de l'atmosphère. Par ailleurs, pendant la saison de mousson, la poussière est un contributeur dominant à la profondeur optique des aérosols en Afrique de l'Ouest. En effet, (Zhao *et al.*, 2011) ont montré qu'en moyenne sur 24 heures, la poussière a un effet de refroidissement ( $-6,11\text{ W.m}^{-2}$ ) à la surface, un effet de réchauffement ( $6,94\text{ W.m}^{-2}$ ) dans l'atmosphère, et un forçage relativement faible au sommet de l'atmosphère ( $0,83\text{ W.m}^{-2}$ ). Akinyoola *et al* (2019) ont observé que la température de l'air augmente de  $22,5^\circ\text{C}$  à  $38,5^\circ\text{C}$  des côtes à la région sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. Ils ont conclu qu'une quantité substantielle de concentration de poussières dans l'atmosphère pouvait déclencher et augmenter le forçage radiatif des aérosols, donc sensible à la variabilité de la mousson et entraîne une augmentation de la quantité de précipitations sur la côte guinéenne et une réduction de la quantité de précipitations dans la région du Sahel en Afrique de l'Ouest.

L'évolution spatio-temporelle des AOT indique qu'en saison sèche, l'atmosphère de la ville côtière est fortement chargée en aérosols par rapport à celle du nord. Ces fortes valeurs d'aérosols dans la zone sud en saison sèche peuvent s'expliquer par le mélange atmosphérique des fines particules de poussières industrielles, des aérosols marins et terrigènes. En effet, dans la ville de Korhogo, le trafic routier et les poussières industrielles restent plus faibles que dans la ville d'Abidjan.

La trajectoire des vents de la ville d'Abidjan montre qu'en saison sèche où l'on enregistre de fortes valeurs d'AOT, à 1500 m d'altitude, les particules proviennent principalement des sources terrigènes. S'ajoutent à ces dernières les fines particules provenant de l'océan (embruns marins) à 500 m et 1000 m d'altitude. On note en saison humide uniquement des advections océaniques quelle que soit l'altitude. Ainsi, les faibles valeurs d'AOT enregistrées en saison humide sont quant à elles liées à la présence dans l'atmosphère de particules fines en provenance des sources locales (trafic, industries...) et des advections provenant de l'océan constituées d'embruns marins. En effet, les figures 18 et 19 montrent que selon la période de l'année, la plupart des masses d'air atteignant les localités de notre étude sont d'origine désertique ou continentale, transportant des particules de poussière (mode grossier) ou en provenance de l'océan Atlantique transportant des particules de sel de mer.

Ces vents sont dus à l'alizé austral (flux de mousson) qui balaie l'Afrique de l'ouest du sud vers le nord en cette période pluvieuse. Ces résultats obtenus sont en accord avec les travaux de Zahibo (2018) qui a également enregistré ces advections en saison sèche et humide à Abidjan. La zone nord de la Côte d'Ivoire et plus particulièrement la ville de Korhogo est dominée en saison sèche par les vents de l'alizé boréal encore appelés Harmattan, vents secs qui proviennent du sahel, chargés de poussières terrigènes (N'krumah *et al.*, 2014). La présence de ces poussières terrigènes en suspension dans l'atmosphère pourrait expliquer les fortes valeurs d'AOT observées en cette période. En effet, cette période de l'année est caractérisée par des vents qui proviennent du Niger ou de l'Algérie quelle que soit l'altitude. Quant aux faibles valeurs en saison humide, elles peuvent s'expliquer par l'apport des masses d'air à basse altitude (500 m) en provenance de l'océan et qui sont chargées de fines particules liées au flux de mousson. A cela s'ajoute l'apport des vents, à 1000 m et 1500 m d'altitude en provenance des sources continentales (Nigéria et Afrique centrale) et chargées de particules issues des feux de biomasse.

De façon générale, les aérosols présents sur les deux sites proviennent à la fois de sources terrigènes désertiques et marines en plus des particules émises de façon locale par les feux de brousses, les rejets industriels et par le transport dans les deux zones. Favez (2008) a révélé que les aérosols proviennent également des activités humaines. En Côte d'Ivoire, seules les émissions des sources trafic et domestiques ont été estimées à Abidjan par les travaux de (Doumbia, 2012 ; Keita *et al.*, 2018). Cela n'a pas été possible pour les industries qui sont très réservées rendant difficile voire impossible l'obtention des informations.

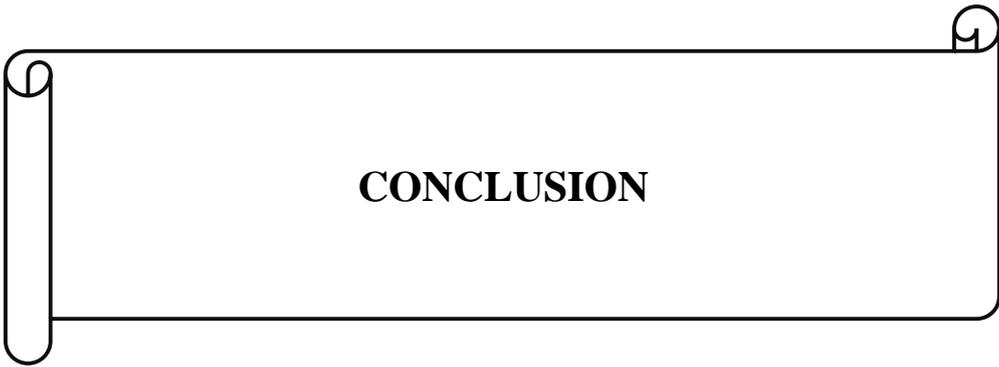
Ainsi, les rejets industriels et les grosses particules marines pourraient expliquer les valeurs fortes amplitudes d'AOT observées à Abidjan contrairement à Korhogo (Bodjrenou, 2016).

Les variations temporelles des coefficients d'angström et d'épaisseurs optiques d'aérosols révèlent une évolution inverse de la distribution en taille de particule et des charges atmosphériques d'aérosols tout le long de l'année d'étude. Ces variations présentent des amplitudes plus élevées en saison humide et plus faibles en saison sèche sur les deux sites. Ces fortes amplitudes suggèrent une présence de fines particules (PM<sub>2.5</sub>) et à contrario de grosses particules (PM<sub>10</sub>) pour les faibles amplitudes.

Ces hausses de valeurs d'alpha (le mode fin) sont non seulement dues aux activités anthropiques mais aussi et surtout aux advections de masses d'air d'origines diverses. Les types de particules (PM<sub>10</sub> ; PM<sub>2.5</sub>) observés dans les différentes saisons concordent avec ceux de (Diarra & Ba, 2014; Bodjrenou, 2016) dans leurs travaux bien que leurs milieux d'études soient différents des

nôtres. Ces résultats sont similaires à ceux de (Zahibo, 2018) qui a également enregistré de fortes valeurs en saison humide à Abidjan et à Lamto.

La comparaison des valeurs de l'exposant d'Angström de Korhogo à celles d'Abidjan montre que l'atmosphère de la zone nord est chargée en très fines particules PM2.5 en saison humide. La présence de très fines particules à Korhogo en saison humide peut s'expliquer d'une part par l'apport de masses d'air provenant de l'océan, liées aux flux de la mousson et de sources continentales, (Nigeria et Afrique du Sud), chargées de particules de combustion de biomasse (Figure 19). A cela, on peut ajouter pollution locale due aux émissions liées au trafic (véhicules et motos) et qui devront être estimées dans le cadre du projet PASMU.



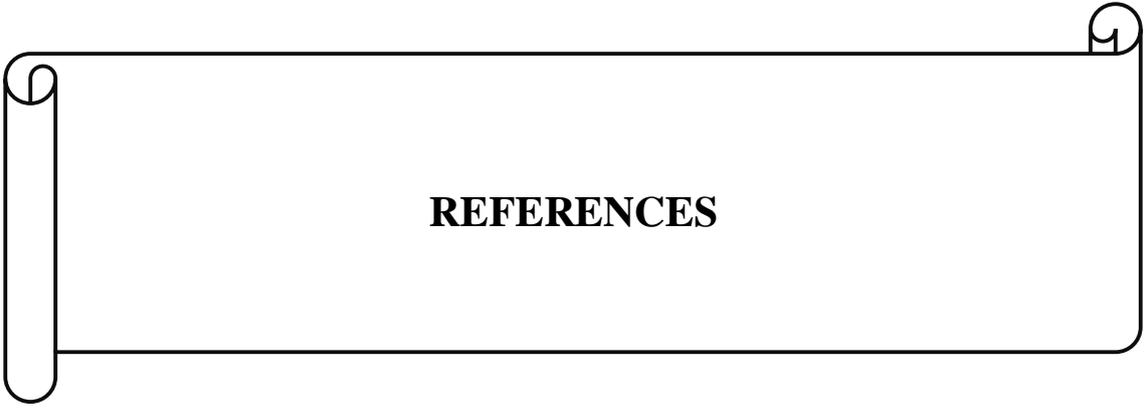
Ce travail de recherche réalisé dans le cadre du programme PASMU est une contribution à l'étude de la pollution particulaire en Côte d'Ivoire. Le but de cette étude est d'évaluer la teneur atmosphérique en aérosols ainsi que les types de particules présents à l'échelle locale dans deux villes de la Côte d'Ivoire, tout en tenant compte des facteurs climatiques et des principales sources des particules.

Pour y parvenir, des mesures d'épaisseurs optiques dans trois longueurs d'onde et de coefficients d'Angströms dans l'intervalle spectral 465-619 nm ont été effectuées d'octobre 2018 à décembre 2019, à l'aide d'un photomètre Calitoo. Les résultats mettent en exergue des variations de l'épaisseur optique et des coefficients d'Angströms aux échelles annuelle et saisonnière, permettant la quantification et la détermination du type de particules d'aérosols dans les zones d'Abidjan (Sud) et de Korhogo (Nord). Par ailleurs, les paramètres météorologiques à savoir la température et la pluviométrie ont été également observés sur l'année 2019 dans les deux localités. Il en ressort que les plus fortes valeurs de l'AOT sont enregistrées pendant les périodes sèches et les faibles valeurs d'épaisseur optique d'aérosols en période humide.

Les phases ascendantes des épaisseurs optiques d'aérosols observées en saison sèche à Abidjan (Décembre-Janvier-Février) et à Korhogo (Janvier-Février-Mars) sont principalement dues aux poussières désertiques du flux de l'Harmattan qui balaie l'Afrique de l'ouest durant cette période de l'année. Par ailleurs, on constate qu'à cette période, la température ambiante est légèrement plus basse due à la présence plus importante de particules absorbantes.

La phase décroissante des épaisseurs optiques se présente en saison humide. À cette période, les grosses particules sont lessivées par les précipitations abondantes. De plus, les vents de la mousson qui soufflent du sud vers le nord, chargés de fines particules marines (embruns marins) issues de l'océan Atlantique traversent les différents sites d'études. En outre, la zone de Korhogo reste aussi marquée par des masses d'air continentales contenant des grosses particules minérales en plus des aérosols marins.

Vu l'importance de la connaissance de la teneur de l'atmosphère en aérosols sur le plan sanitaire, il est souhaitable que la même étude sur les aérosols soit effectuée dans d'autres villes de la Côte d'Ivoire tout en évaluant le lien entre les AOT et les paramètres tels que l'humidité relative, la vitesse des vents dont les données étaient indisponibles pour notre période d'étude. Enfin, il est souhaitable que cette étude soit couplée avec des observations satellitaires et des études de modélisation afin d'améliorer la caractérisation des particules d'aérosols en milieu urbain.



**REFERENCES**

- Ahmad W. (2017). Formation d'aérosols organiques secondaires dans l'oxydation du limonène et des méthoxyphénols. Etude de l'influence des conditions environnementales. Thèse de Doctorat en Physico-Chimie de l'Atmosphère, Ecole des Mines de Douai et l'Université du Littoral Côte d'Opale (Lille, France), 189 p.
- Akinyoola A.L., Ajayi V.O., Abiodun B.J., Ogunjobi K.O., Gbode I.E. & Ogungbenro S.B. (2019). Dynamic response of monsoon precipitation to mineral dust radiative forcing in the West Africa region. *Modeling Earth Systems and Environment*. 5: 1201–1214.  
<https://doi.org/10.1007/s40808-019-00620-z>.
- Aklesso M., Kumar R., Bu L. & Boiyo R. (2018). Analysis of spatial-temporal heterogeneity in remotely sensed aerosol properties observed during 2005–2015 over three countries along the Gulf of Guinea Coast in Southern West Africa. *Atmospheric Environment*, 182 : 313–324.
- Alfaro S.C., Gaudichet A., Gomes L. & Maillé M. (1998). Mineral aerosol production by wind erosion: aerosol particle sizes and binding energies. *Geophysical Research Letters*, 25(7) : 991–994.
- Bedou M. (1999). Essai de mise en évidence du caractère hygroscopique des aérosols en Afrique de l'ouest : cas de Bidi et Ouangofitini. Thèse de 3ième Cycle, UFR SSMT, Université FHB (Abidjan, Côte d'Ivoire), 322 p.
- Bliefert C. & Perraud R. (2001). Environment chemistry : air, water, soils, wastes. *De Boeck France*, 447 p.
- Bodjrenou T.M. (2016). Variabilité de l'épaisseur optique des aérosols au sud et au centre du Bénin. Mémoire de Master en Hydrologie, Option : Hydrologie Quantitative, Université d'Abomey-Calavi (Benin), 62 p.
- Boucher O. (2012). Aérosols atmosphériques : Propriétés et impacts climatiques. *Springer Science & Business Media*, 248 p
- Colin T. (2010). Caractérisation des aérosols atmosphériques en milieu urbain par télédétection à très haute résolution spatiale. Thèse de Doctorat en Télédétection, Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (Toulouse, France), 233 p.
- Collins B.D., Montgomery D.R. & Hass A.D. (2002). Historical changes in the distribution and functions of large wood in Puget Lowland rivers. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciences*, (59): 66–76.
- D'Almeida G.A. (1986). A model for Saharan dust transport. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25(7): 903–916.
- D'amato G., Liccardi G., D'amato M. & Holgate S. (2005). Environmental risk factors and allergic bronchial asthma. *Clinical Experimental Allergy*, 35(9) : 1113–1124.
- Depuydt G. (2013). Etude expérimentale in situ du potentiel de lessivage de l'aérosol atmosphérique par les précipitations. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse (Toulouse, France), 150 p.

- Diarra C. & Ba A. (2014). Analyse des paramètres optiques des aérosols atmosphériques, de leur distribution et de leur albédo de diffusion par les mesures photométriques au Mali. *Afrique SCIENCE*, 10(2) : 82–97.
- Djossou J. (2018). Analyse de la pollution atmosphérique en zones urbaines en Côte d'Ivoire et au Bénin dans le cadre du programme DACCIWA : Pollution particulaire. Thèse de Doctorat Unique en Physique de L'atmosphère, Université d'Abomey-Calavi (Benin), 141 p.
- Doumbia M., N'Datchoh E.T., Silue S., Yoboue V., Diedhiou A. & Hauhouot C. (2018). Emissions from the Road Traffic of West African Cities: Assessment of Vehicle Fleet and Fuel Consumption. *Energies* 2018, 11 ,1109-2300.
- Doumbia T. (2012). Caractérisation physico-chimique de la pollution atmosphérique urbaine en Afrique de l'Ouest et étude d'impact sur la santé. Thèse de Doctorat en Physique et Chimie de L'atmosphère, Université Paul Sabatier (Toulouse, France), 232 p.
- Dubovik O., Holben B., Eck T.F., Smirnov A., Kaufman Y.J., King M.D., Tanré D. & Slutsker I. (2002). Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations. *Journal of the atmospheric sciences*, 59 : 590–608.
- Euphrasie L. (2018). Climatologie du transport des aérosols désertiques au-dessus de l'Atlantique vers la région Caraïbe. Thèse de Doctorat en Science de l'Univers, Université des Antilles, Pole Guadeloupe (Région Guadeloupe, France), 213 p.
- Favez O. (2008). Caractérisation physico-chimique de la pollution particulaire dans des mégapoles contrastées. Thèse de Doctorat en Chimie Atmosphérique, Université Paris.Diderot (Paris,France), 201 p.
- Floutsi A.A., Korras-carraca M.B., Matsoukas C., Hatzianastassiou N. & Biskos G. (2016). Climatology and trends of aerosol optical depth over the Mediterranean basin during the last 12 years (2002-2014) based on Collection 006 MODIS-Aqua data. *Science of the Total Environment* : 551–552. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.192>
- Guillaume B. (2006). Les aérosols : émissions, formation d'aérosols organiques secondaires, transport longue distance : Zoom sur les aérosols carbonés en Europe. Thèse de Doctorat en Physique et Chimie de l'Atmosphère, Université de Toulouse Paul Sabatier (Toulouse, France), 288 p.
- Guth J. (2015). Modélisation des aérosols à l'aide du modèle de chimie transport MOCAGE : application à la qualité de l'air dans le bassin méditerranéen. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse (Toulouse, France), 242 p.
- Hansen J., Sato M. & Ruedy R. (1997). Radiative forcing and climate reponse. *Journal of Geophysical Research*, 102 : 6831–6864.
- Hervo M. (2013). Etude des propriétés optiques et radiatives des aérosols en atmosphère réelle : impact de l'hygroscopicité. Thèse de Doctorat de l'Ecole Doctorale des Sciences, Université Blaise Pascal (France), 170 p.
- INS (2015). Institut National de la Statistique, RGPH Cote d'Ivoire. Résultat Globaux. available at : <http://www.ins.ci/n/RESULTATSGLOBAUX.pdf>.

- Kang N., Kumar K.R., Hu K., Yu X. & Yin Y. (2016). Long-Term (2002–2014) evolution and trend in collection 5.1 level-2 aerosol products derived from the MODIS and MISR sensors over the Chinese Yangtze River Delta. *Atmospheric Research*, 181: 29–43.
- Kaufman Y. J., Remer L. A., Tanré D., Li R.-R., Kleidman R., Mattoo S., Levy R. C., Eck T.F., Holben B.N., Member C. I., Martins V. & Koren I. (2005). A critical examination of the residual cloud contamination and diurnal sampling effects on MODIS estimates of aerosol over ocean. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(12): 2886–2897.
- Kecenelenbogen-Tilot M. (2008). Application de la télédétection spatiale à la surveillance de la pollution en aérosols. Thèse de Doctorat en Physique de l'Atmosphère, Université de Science et Technologie de Lille (Lille, France), 181 p.
- Keita S., Liousse C., Yoboué V., Dominutti P., Guinot B., Assamoi E.M., Borbon A., Haslett S.L., Bouvier L. & Colomb A. (2018). Particle and VOC emission factor measurements for anthropogenic sources in West Africa. *Atmospheric Chemistry and Physics*, (18): 7691–7708.
- Kochac (2011). Interaction entre poussière désertiques et convection profonde en Afrique de l'Ouest : Observation et Modélisation à échelle convective. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse UT3 Paul Sabatier (France), 205 p.
- Korgo B. (2014). Caractérisation optique et microphysique des aérosols atmosphériques en zone urbaine ouest africaine : Application aux calculs du forçage radiatif à Ouagadougou. Thèse de Doctorat en Physique de l'Atmosphère, Université de Ouagadougou (Ouagadougou, Burkina Faso), 134 p.
- Kouassi S.K., Billet S., Guillaume G., Verdin A., Diouf A., Cazier F., Djaman J., Courcot D. & Shirali P. (2012). Effets cytotoxiques in vitro des PM<sub>2.5</sub> de la ville d'Abidjan (Côte D'Ivoire) sur des cellules pulmonaires humaines. *Pollution Atmosphérique*, (213–214) : 117–130.
- Kouadio E. (2018). Etude de la remise en suspension de polluants en milieu urbain. *8ème Journées Doctorales en Hydrologie*, 07 Novembre 2018, Nantes, France, pp 1–29.
- Lacour S. (2010). Cours de pollution atmosphérique : inventaire d'émissions. *CEREA*,: 47p.
- Liousse C., Assamoi E., Criqui P., Granier C. & Rosset R. (2014). Explosive growth in African combustion emissions from 2005 to 2030. *Environmental Research Letters*, 9: 11.
- Liousse C., Guillaume B., Grégoire J. M., Mallet M., Galy C., Pont V., Akpo A., Bedou M., Castéra P., Dungall L., Gardrat E., Granier C., Konaré A., Malavelle F., Mariscal A., Mieville A., Rosset R., Serca D., Solmon F., Tummon F., et al. (2010). Updated African biomass burning emission inventories in the framework of the AMMA-IDAF program, with an evaluation of combustion aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*, (10): 9631–9646.
- Mallet M., Roger J.C., Despiou S., Dubovik O. & Putaud J. (2003). Microphysical and optical properties of aerosol particles in urban zone during ESCOMPE. *Atmospheric Research*, 1–2(69): 73–97.

- N'krumah T.A.S.R., Kone B., Tiembre I., Mbaye I., Tanner M. & Cissé G. (2014). Variabilité climatique et incidence de la méningite cérébro-spinale dans le district sanitaire de Korhogo (Nord de la Cote d'Ivoire). *Environnement, Risques & Santé*, 13(2) : 144–152.
- Olahan A. (2010). Agriculture urbaine et stratégies de survie des ménages pauvres dans le Complexe spatial du district d'Abidjan. *VertigO- Revue électronique En Science de, l'environnement.*, 10(2). <https://doi.org/10.4000/vertigO.10005>
- Payan S. (2009). Transfert radiatif atmosphérique. *SPECATMO*, 41 p
- Péré J.-C. (2010). Simulation de l'impact climatique des aérosols en Europe. Thèse de Doctorat en Physique et Chimie de l'Atmosphère, Université de Toulouse 3 Paul Sabatier (Toulouse, France), 179 p.
- Renoud A. & Boulaud D. (2005). Les aérosols: Physique et Métrologie. *Tec & Doc Lavoisier*, France, 301 p
- Rivellini L.H. (2017). Propriétés physico-chimiques, optiques et identification des sources des aérosols en Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat en Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement, Université de Lille (France), 237 p.
- Salvi S., Blomberg A., Bertil R., Kelly F., Sandstrom T., Holgate S.T. & Frew A. (1999). Acute Inflammatory Responses in the Airways and Peripheral Blood After Short-Term Exposure to Diesel Exhaust in Healthy Human Volunteers. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 159(3): 702–709.
- Satheesh S.K. & Moorthy K.K. (2005). Radiative Effects of Natural Aerosols. *Atmospheric Environment*, (39) : 2089–2110.
- Sellegrì K. (2012). Formation et propriétés des particules d'aérosols dans la troposphère. Laboratoire de Météorologie physique / cnrs, 105 p.
- Shaw G.E. (1988). Aérosol-size temperature Relationship. *Geophysical Research Letters*, 15(2): 133–135.
- Singh A.K., Rai J. & Niwas S. (2000). Variation of aerosols in relation to some meteorological parameters during different weather conditions. *Atmosfera*, 13(3): 84–177.
- Smirnov A., Holben B.N., Savoie D., Prospero J.M., Kaufman Y.J., Tanre D., Eck T.F. & Slutsker I. (2000). Relationship between column aerosol optical thickness and in situ ground-based dust concentrations over Barbados. *Geophysical Research Letters*, 27: 1643–1646.
- Tahiri A., Tanre D., Diouri M. & Blarel L. (2013). Forçage radiatif dû à l'aérosol atmosphérique observé à Oujda (Maroc) en 2012. 5: 8 p.
- Toubette M. (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 en Sciences et Techniques de l'Environnement, l'École nationale des ponts et chaussées (l'Île de France), 274 p.

- 
- Tremblay S. (2017). Caractérisation des propriétés chimiques, physiques et optiques des matières particulaires atmosphériques dans le Grand Nord Canadien. Mémoire de Master en Chimie, Département de Chimie, Université de Montréal (Canada), 143 p.
- Velasco-Merino C., Mateos D., Toledano C., Prospero J.M., Molinie J., Euphrasie-Clotilde L., Gonzalez R., Cachorro V.E., Calle E. & Frutos A.M. (2018). Impact of long-range transport over the Atlantic Ocean on Saharan dust optical and microphysical properties based on AERONET data. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18: 9411–9424.
- Wright M.E., Dean B., Atkinson Z.L., Griffin R., Hiranuma N., Sarah B., Lefer B., Flynn J., Rappengluck B., Luke. W. & Kelleys P. (2010). Extensive Aerosol Optical Properties and Aerosol Mass Related Measurements during TRAMP/TexAQS 2006- Implications for PM Compliance and Planning. *Atmospheric Environment*, (44) : 4035–4044.
- Yahi H. (2010). Méthodologie de prévision de la pollution atmosphérique particulaire : Vers une télédétection satellitaire. Thèse de Doctorat, Université du Littoral (France), 177 p.
- Zahibo E. (2018). Etude de la variabilité des épaisseurs optiques des aérosols en zone urbaine et rurale de la Côte d'Ivoire de 2015 à 2016. Mémoire de Master, Option : Physique de l'Atmosphère, Université Felix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 69 p.
- Zhao C., Liu X., Leung L.R. & Hagos S. (2011). Radiative impact of mineral dust on monsoon precipitation variability over West Africa. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11 : 1879–1893.

## **RESUME**

Cette étude qui s'inscrit dans le cadre du programme PASMU s'est effectuée sur deux sites différents Abidjan (sud) et Korhogo (nord). Ce travail a porté sur l'étude du contenu d'aérosols atmosphériques des dites villes à partir de mesures issues du photomètre Calitoo. Les résultats indiquent des valeurs moyennes mensuelles des épaisseurs optiques d'aérosols (EOA) plus élevées en saison sèche et qu'en saison humide. A Abidjan, les valeurs mensuelles fluctuent entre 0,86 et 0,22 et celles de Korhogo entre 0,75 et 0,34. Ces variations de profondeurs optiques sont associées à des évolutions inverses des coefficients d'Angstrom ( $\alpha$ ) qui oscillent entre 0,50 et 1,52 dans la zone nord et entre 0,32 et 1,05 dans la zone côtière. Cette distribution de mode fin en saison humide et de mode grossier en saison sèche est fortement liée à la circulation atmosphérique en Afrique de l'Ouest (flux d'harmattan et flux de mousson). On note également une influence des paramètres climatiques (pluies et température) et des activités humaines sur la distribution d'aérosols.

**Mots clés :** aérosols atmosphériques, épaisseurs optiques d'aérosols, photomètre, Abidjan, Korhogo

## **ABSTRACT**

This survey which is part of the PASMU program was carried out at two different sites Abidjan (south) and Korhogo (north). This work focused on the study of the atmospheric aerosol content of Abidjan and Korhogo using measurements from the Calitoo photometer. The results show monthly mean values of Aerosol Optical Depth (AOD) higher in the dry season than in the wet season. In Abidjan, the monthly values fluctuate between 0.86 and 0.22 and those of Korhogo between 0.75 and 0.34. These variations of optic depths associated to inverse evolutions of the angstrom coefficients ( $\alpha$ ) who oscillate between 0.50 and 1.52 in the north zone and between 0.32 and 1.05 in the inshore zone. This distribution of mode end in humid season and coarse mode in dry season is bound strongly to atmospheric circulation in West Africa (flux of harmattan and flux of monsoon). One also notes an influence of the climatic parameters (rains and temperature) and of the human activities on the distribution of sprays.

**Key words:** atmospheric sprays, optic thickness of sprays, photometer Abidjan, Korhogo