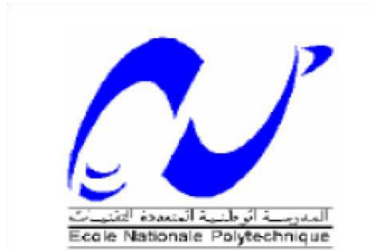


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Département de Génie de l'environnement

Mémoire de Master
En Génie de l'environnement

**Application du modèle de Gauss dans l'évaluation du plomb
atmosphérique à différentes distances de la RN 11 à Alger**

Proposé et dirigé par :

Professeur Rabah KERBACHI

Etudié par :

Rania DJETTENE

Soutenu le 04/07/2017 devant le jury composé de :

Présidente : M^{me} N.BELHANECHÉ

Professeur ENP

Promoteur : Mr R.KERBACHI

Professeur ENP

Examineur : Mr A.TALBI

Doctorant ENP

ENP 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Département de Génie de l'environnement

Mémoire de Master
en Génie de l'Environnement

**Application du modèle de Gauss dans l'évaluation du plomb
atmosphérique à différentes distances de la RN 11 à Alger**

Rania DJETTENE

sous la direction de : M. Rabah KERBACHI

Professeur

Présenté et soutenue publiquement le (04/07/2017)

Composition du jury :

Présidente : M^{me} N.BELHANECHÉ

Professeur ENP

Promoteur : Mr R.KERBACHI

Professeur ENP

Examineur : Mr A.TALBI

Doctorant ENP

ENP 2017

Remerciement

Nous remercions Dieu le Tout puissant de nous avoir donné patience, santé et volonté tout au long de nos études ;

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner toute notre reconnaissance ;

R.KERBACHI qui m'a encadrée tout au long de ce projet de fin d'études et qui m'a fait partager ses brillantes intuitions. Qu'il soit aussi remercié pour sa gentillesse, sa disponibilité permanente et pour les nombreux encouragements qu'il m'a prodigués ;

Je remercie également M^{me} N.BELHANECHÉ pour m'avoir honoré en acceptant de présider le jury, Mr Y.KERCHIH d'avoir accepté de juger mon humble travail ;

Je remercie également les enseignants du département de l'environnement à l'école nationale polytechnique pour nous avoir offert, une bonne formation au bout des trois années qu'on a passé ensemble sous le toit de notre département ;

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel, pour tous les moments agréables partagés durant cette formation.

ملخص

تلوث الهواء ليست ظاهرة جديدة، بل موجودة منذ قرون في جميع أنحاء العالم بأكمله. تنوع المواد الطبيعية أو الاصطناعية المنبعثة في الغلاف الجوي واحتمال عال من التفاعل الكيميائي قد خلقت العديد من الظواهر التي تهدد عموماً التوازن الطبيعي للغلاف الجوي. ومن بين أشكال التلوث في الغلاف الجوي: زمام المبادرة من حركة المرور على الطرق. ونحن مهتمون في هذا العمل لتقدير تركيز الرصاص من حركة المرور في العاصمة الجزائرية هذا على مسافات مختلفة من الطريق الرئيسي المؤدي إلى RN 11 من خلال تطبيق نموذج Gauss

الكلمات المفتاحية. تلوث الغلاف الجوي, الرصاص, نموذج, حركة المرور

Abstract :

Air pollution is not a new fact but has existed for centuries across the globe. The diversity of synthetic or natural substances emitted into the atmosphere and the high likelihood of their chemical interaction have created several phenomena which generally threaten the natural balance of the atmosphere. Among the forms of air pollution: lead resulting from road traffic. We are interested in this work to estimate the concentration of lead resulting from road traffic at the level of the Algiers capital at different distances from the road axis of the RN No. 11 by the application of the Gauss model.

Key words: Air pollution; road traffic; lead.

Résumé :

La pollution atmosphérique n'est pas un fait nouveau, mais existait déjà depuis des siècles à travers l'ensemble du globe terrestre. La diversité des substances synthétiques ou naturelles émises dans l'atmosphère et la forte probabilité de leur interaction chimiques ont créé plusieurs phénomènes qui menacent en général l'équilibre naturel de l'atmosphère. Parmi les formes de pollution atmosphériques : le plomb issu du trafic routier . nous nous intéressons dans ce travail à estimer la concentration du plomb issu du trafic routier au niveau de la capital Alger ceci à différentes distances de l'axe routier de la RN n°11 par l'application du modèle de Gauss.

Mot clés : pollution atmosphérique ; Plomb ; Trafic routier ; modèle de Gauss

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Introduction générale..... | 8 |
| PARTIE A Synthèse Bibliographique..... | 9 |
| Chapitre I..... | 10 |
| Généralités sur la pollution de l'air..... | 10 |
| I. Définition de la pollution atmosphérique :..... | 11 |
| II. Sources de la pollution atmosphérique : | 11 |
| III. Les émissions du trafic routier : | 11 |
| IV. Situation du trafic routier en Algérie : | 18 |
| Chapitre II Dispersion des polluants dans l'atmosphère | 20 |
| I. Dispersion et transport des polluants: | 21 |
| II. Quels facteurs météorologiques influent la dispersion des polluants ?..... | 21 |
| III. Généralités sur les mouvements d'air dans la basse atmosphère :..... | 21 |
| IV. Spécificité des phénomènes météorologiques en montagne – Influence de la dimension spatiale : | 25 |
| V. Calcul de la dispersion des polluants atmosphériques : | 29 |
| VI. Description de la zone :..... | 31 |
| PARTIE B Partie expérimentale..... | 33 |
| Chapitre III Résultats et discussion..... | 34 |
| I. Introduction : | 35 |
| II. Données de base : | 35 |
| Conclusion | 40 |
| Bibliographie..... | 41 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tab 1 : des Résultats D'analyses D'échantillons Biologiques..... | 17 |
| Tab 2 Valeurs limites de quelques polluants atmosphériques | 18 |
| Tab 3 ; les paramètres de Pasquill. | 30 |
| Tab 4 : Catégories de stabilité atmosphérique. | 31 |
| Tab 5 : Données de base | 35 |
| Tab 6 : Dimension verticale du panache du fumé et la concentration du plomb C pour une distance $x=500$ mètres..... | 36 |
| Tab 7 : Dimension verticale du panache du fumée et la concentration du plomb C pour une distance $x=1000$ mètres..... | 36 |
| Tab 8 : Dimension verticale du panache du fumée et la concentration du plomb C pour une distance $x=1500$ mètres..... | 37 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Fig.1 : Trafic routier en Algérie..... | 19 |
| Fig. 2 : Profil stable de température de l'atmosphère..... | 24 |
| Fig. 3 : Phénomène d'inversion du gradient thermique vertical de l'air | 25 |
| Fig.4 : Brise d'amont et d'aval des vallées..... | 27 |
| Fig.5 : Brise de mer..... | 28 |
| Fig.6 : Brise de terre..... | 28 |
| Fig. 7 : Représentation de la diffusion suivant le modèle du panache : modèle Gaussien. | 30 |
| Fig. 8 : Présentation de la zone d'étude..... | 32 |
| Fig. 9 : Variation de la concentration du plomb en fonction de la distance à l'axe routier pour une vitesse de vent $U= 2\text{m/s}$ | 37 |
| Fig. 10 : Variation de la concentration du plomb en fonction de la distance à l'axe routier pour une vitesse de vent $U= 3\text{m/s}$ | 38 |
| Fig. 11 : Variation de la concentration du plomb en fonction de la distance à l'axe routier pour une vitesse de vent $U= 4\text{m/s}$ | 38 |
| Fig.12 : Comparaison de l'évolution des teneurs atmosphérique en plomb pour différentes vitesses de vent..... | 39 |

Introduction Générale

La pollution atmosphérique n'est pas un fait nouveau, mais existait déjà depuis des siècles à travers l'ensemble du globe terrestre. Les principales origines étaient l'érosion éolienne, l'utilisation domestique du feu, les éruptions volcaniques, les feux des forêts, les tempêtes de vent.

Dès la fin du XVIIIème siècle, en raison des problèmes causés par la combustion du charbon dans les grandes villes (Hadfield, et al., 1999), il est apparu nécessaire de mettre en place un système de management de la qualité de l'air. A l'époque, à cause des limites technologiques et en l'absence d'instrumentation adaptée à la mesure de cette pollution, il n'existait aucune réglementation. Depuis lors, entre industrialisation exponentielle et augmentation drastique de l'activité anthropique, la problématique de la pollution de l'air n'a cessé de croître.

La diversité des substances synthétiques ou naturelles émises dans l'atmosphère et la forte probabilité de leur interaction chimiques ont créé plusieurs phénomènes qui menacent en général l'équilibre naturel de l'atmosphère et en particulier la santé de l'homme. Parmi les diverses formes de pollution atmosphériques on notera la contamination de l'atmosphère par le plomb. La source principale de ce dernier est la combustion de l'essence dans les moteurs automobiles, ajouté à l'essence comme antidétonant. Ce plomb est en majeure partie rejeté dans l'atmosphère par les gaz d'échappement.

La dispersion de ces polluants aura lieu dans l'atmosphère sous l'effet de plusieurs facteurs météorologiques et topographiques. Il existe plusieurs modèles plus ou moins complexes de calcul de la dispersion des polluants. L'un des modèles qui est relativement simple et usuellement utilisé est le modèle de Gauss que nous avons utilisé dans notre travail.

Du point de vue santé publique, ce sont surtout les enfants qui sont le plus touchés; une forte exposition au plomb induit auprès d'eux une inhibition du développement neuropsychologique. La lutte contre cette forme de pollution est devenue une préoccupation primordiale au niveau mondial, en ce sens que les teneurs atmosphériques en Pb sont en constante baisse, ce n'est pas le cas de notre pays qui est doté d'un parc automobile de 5.683.156 véhicules à la fin 2015 (ONS) et qui utilise encore l'essence plombée.

PARTIE A
Synthèse Bibliographique

Chapitre I

Généralités sur la pollution de l'air

I. Définition de la pollution atmosphérique :

C'est l'introduction dans l'atmosphère par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie ayant une action nocive, de nature à mettre en danger la santé humaine, à endommager les ressources biologiques et les écosystèmes, à détériorer les biens matériels, à porter atteinte ou à nuire aux valeurs d'agrément et aux autres utilisations légitimes de l'environnement (convention de Genève à 1979).

Une autre définition donne une idée plus simple et précise sur la pollution atmosphérique c'est la définition du conseil européen : " Toute substance solide, liquide ou gazeuse contenue dans l'atmosphère et qui ne fait pas partie de la composition normale de l'air ou présente en proportion anormale est considérée comme substance polluante. "

II. Sources de la pollution atmosphérique :

Les sources de polluants atmosphériques peuvent être divisées en 2 catégories : sources anthropiques et les sources naturelles (Arquès, 1998).

Une source anthropique est une source de pollution liée à l'activité humaine ; elle se subdivise en 3 catégories : secteur industriel, secteur résidentiel et transport. Nous citons comme exemples : la combustion, l'incinération, le trafic routier, etc.

Les sources naturelles sont les sources associées aux émissions d'origines naturelles liées à la biosphère (ORS, décembre 2007). Par exemple : l'érosion du sol, éruption volcanique, les émissions de la végétation...etc.

L'accumulation de ces polluants est aussi à l'origine des phénomènes de pluies acides qui ont un impact très négatif sur la végétation ou encore du réchauffement terrestre (Arquès, 1998). Afin de bien cerner le contexte dans lequel ce travail se situe et de bien définir le cahier des charges de l'outil de diagnostic que nous proposons de développer, nous avons donc recensé dans le paragraphe suivant les polluants atmosphériques primaires ou secondaires, leurs sources, et la réglementation associée à l'échelle européenne le cas échéant.

III. Les émissions du trafic routier :

Les transports routiers constituent un des secteurs économiques émetteur de pollution : sa contribution au total des émissions au niveau mondial est – pour certaines substances – importante, voire prépondérante.

Par opposition aux rejets industriels qui proviennent de sources fixes, la pollution routière est le fruit de millions de sources mobiles, ce qui ne facilite pas son étude.

Forcément hétérogène du fait de la variété des véhicules qui constitue le parc automobile (véhicule particulier ou utilitaire, essence ou diesel, récent ou âgé, etc.), la difficulté à appréhender la pollution émise par ce parc est décuplée par la variabilité même des émissions propre à chaque véhicule. Ces dernières évoluent en effet dans le temps (suivant que le moteur est chaud ou froid, le niveau de chargement, l'âge du véhicule, son entretien, le type

de conduite, etc.) et dans l'espace (fluidité du trafic et caractéristiques de la route : altitude et pente).

Enfin, tous les véhicules n'émettent pas les mêmes quantités et les mêmes proportions des différents polluants. On distingue généralement les polluants émis sous forme particulaire ou gazeuse. On distingue également les polluants primaires, émis directement à l'échappement des véhicules et des polluants secondaires qui ne sont pas issus directement des moteurs mais sont produits par la réaction chimique des polluants primaires entre eux ou avec les constituants « normaux » de l'atmosphère. Certains polluants secondaires, comme l'ozone par exemple, sont dits photochimiques, car leur apparition est favorisée par l'action du rayonnement solaire qui accélère la transformation des composés primaires dans l'atmosphère.

Outre le classement lié aux caractéristiques physico-chimiques des polluants, on peut distinguer les substances réglementées de celles qui ne le sont pas. Le temps de réponse des pouvoirs publics est forcément long entre les premiers travaux portant sur un composé et sa prise en compte dans la législation : ainsi, ce n'est pas parce qu'un polluant n'est pas réglementé qu'il n'est pas nocif. Les polluants réglementés – et donc mesurés dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air – doivent donc être plutôt considérés comme des indicateurs de pollution. Bien que de plus en plus complète, la surveillance de pollution reste ainsi – à l'heure actuelle – partielle.

III.1. La pollution d'origine routière :

La liste des polluants atmosphériques d'origine automobile est longue : parmi les polluants présents à l'état de gaz, on trouve les oxydes de carbones (CO et CO₂), les oxydes d'azote (NO_x), les Composés Organiques Volatils (COV), parmi lesquels les hydrocarbures (HC), le dioxyde de soufre (SO₂) et les métaux lourds.

L'ozone troposphérique est un cas à part puisqu'il n'est pas directement issu des véhicules, mais est créé essentiellement à partir de NO_x et des COV sous l'influence du rayonnement solaire. Enfin, une partie de la pollution se trouve sous forme particulaire. Diverses substances peuvent s'adsorber sur les particules : des hydrocarbures, notamment les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), dont certains sont cancérigènes, des métaux lourds, etc.

Notons qu'un certain nombre de ces « polluants » sont des composés chimiques présents à l'état naturel et sont indispensables au maintien de la vie sur terre. Ainsi, c'est plus l'augmentation de leur teneur que leur présence dans l'air qui pose problème.

1. Oxydes d'azote NO_x : Les oxydes d'azote proviennent essentiellement de la combustion des combustibles fossiles. L'azote (N) et l'oxygène (O) entrent en réaction dans les conditions de hautes températures et de pression des moteurs pour former du monoxyde d'azote (NO) (SCHÜTZ, 1995). Le NO se transforme, en présence d'oxygène, en NO₂ (de 0, 5 à 10 %) dans le foyer. Les NO_x mesurés à la sortie du pot d'échappement sont composés principalement de NO et de NO₂, avec une proportion de 60 à 80% de NO (NOPPE, 1998). L'oxydation de NO en NO₂ se poursuit dans l'atmosphère et explique dans le cas des villes à forte circulation la couleur brunâtre des couches d'air pollué situées à quelques centaines de mètres d'altitude

(action conjointe des poussières) (CITEPA, 2001a, web). Les oxydes d'azote interviennent dans la formation d'ozone, les dépôts acidifiants et eutrophisants (effet sur les sols, la faune et la flore mais aussi les bâtiments) et, par effet indirect, dans l'accroissement de l'effet de serre : le protoxyde d'azote (N_2O) est engendré par l'azote présent initialement dans les combustibles; peu réactif dans la troposphère, c'est par contre un agent actif d'attaque de la couche d'ozone stratosphérique (PARMENTIER et GARREC, 1994; DEGOBERT, 1992).

Les oxydes d'azote jouent un rôle très important au niveau de la chimie atmosphérique. Ils sont précurseurs de plusieurs polluants secondaires, notamment l'ozone et l'acide nitrique.

2. Monoxyde de carbone CO : c'est un gaz incolore, inodore et insipide (APESA et SUBELZU, 2001). Il est produit par des combustions incomplètes de matières organiques généralement dues à des installations mal réglées. Le CO_2 est émis dès lors qu'il y a combustion d'hydrocarbures, alors que le CO est émis essentiellement lorsque cette combustion est incomplète (SCHÜTZ, 1995). La diffusion du CO est très rapide. Il disparaît rapidement dès que l'on s'éloigne d'une source d'émission (ESCOURROU, 1996). Le CO est un toxique puissant qui peut bloquer la fixation de l'oxygène par les globules rouges (anoxie).

3. Dioxyde de carbone CO_2 (ou gaz carbonique) : L'importance attribuée au CO_2 provient de l'accroissement rapide de la concentration de ce gaz dans l'atmosphère par suite d'une augmentation de la consommation d'énergie fossile et d'une diminution importante des couverts forestiers. Par ailleurs, les océans jouent un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre général en carbone. L'augmentation de CO_2 dans l'atmosphère, dans les proportions que nous connaissons, ne poserait probablement pas de problème à l'homme avant très longtemps s'il n'y avait pas l'accroissement de l'effet de serre et ses conséquences potentielles d'ordre socio-économique plus ou moins dramatiques selon les experts (CITEPA, 2001a, web). Or, le dioxyde de carbone rejeté par les moyens de transport a augmenté de manière spectaculaire ces dernières décennies (AEE, 1999)

4. Composés organiques volatils COV : Les COV regroupent une multitude de substances et ne correspondent pas à une définition très rigoureuse. Les composés organiques sont constitués par le carbone et ses combinaisons. Parmi ces substances, les hydrocarbures sont des composés binaires constitués de carbone et d'hydrogène. Les autres grands groupes de COV sont les composés carbonés (alcanes, alcènes...) et les composés carboxyles (aldéhydes, cétones, éthers...) (NOPPE, 1998)

⇒ Les COV sont émis :

- a. par évaporation à la pompe, au niveau du carburateur et du réservoir (provoquée par les variations de températures : marche/arrêt du moteur ou jour/nuit ; ce sont les pertes par « respiration »),
- b. par perte (éclaboussures à la pompe ou au niveau du réservoir),
- c. dans les gaz d'échappement (DEGOBERT, 1992, p. 29-33).

La composition spécifique des émissions de COV, qu'ils soient produits par combustion ou évaporation, varie très fortement en fonction des carburants et de leurs additifs. C'est pourquoi les véhicules à essence et diesel (ou autre carburant) donnent différents spectres d'émissions. Cependant, les émissions totales de COV sont équivalentes car, si les véhicules diesel émettent beaucoup moins de COV par kilomètre, leurs rejets contiennent une forte

concentration des COV les plus réactifs (composés aromatiques, aldéhydes et oléfines) qui fait que les moteurs diesel contribuent de manière beaucoup plus importante à la formation d'ozone (OCDE, 1995).

On distingue parfois le méthane (CH_4) qui est un COV particulier, naturellement présent dans l'air. Emis par la rumination du bétail ou des autres ruminants et les déjections, il est comptabilisé à part aux Etats-Unis du fait qu'il s'agit d'un hydrocarbure photochimiquement peu réactif et peu toxique (CSHPF, 1996; ACADEMIE DES SCIENCES, 1996, p. 8) : il ne participe pas à la formation d'ozone. On parle alors de COVNM (Composés Organiques Volatils Non Méthaniques) (CITEPA, 2001a, web). En Europe, le méthane a longtemps été comptabilisé avec les autres COV, ce qui apparaît moins pertinent (ACADEMIE DES SCIENCES, 1996) mais, depuis quelques années, une comptabilité séparée semble devenir la norme.

⇒ **Les propriétés des principaux sous-groupes de la famille des COV :**

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : Les HAP, dont certains sont reconnus dangereux pour la santé car cancérigènes, sont des hydrocarbures aromatiques constitués de plusieurs cycles benzéniques (de 2 à 6, voire 8) accolés selon diverses formes. Les HAP sont la plupart du temps adsorbés sur des particules carbonées. Ils sont également détectés en phase gazeuse, en particulier dans les gaz d'échappement des moteurs à essence ; il s'agit dans ce cas des HAP de masse moléculaire la plus faible qu'on appelle HAP légers. Si la masse moléculaire est inférieure à 252 g, la récupération se fait essentiellement sous forme gazeuse ; si la masse moléculaire est supérieure à 252 g, la récupération se fait essentiellement sous forme particulaire (HAUTALA *et al.*, 1995).

Les BTEX (ou BTX) : Le Benzène, le Toluène, l'Ethylbenzène et les Xylènes sont des HAM (Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques). Ce sont des hydrocarbures imbrûlés. Le benzène est produit par décomposition des composés aromatiques (MALBREIL, 1997), Les BTX sont les principaux COV émis par les véhicules essences (SANEF et ARGOPOL, 1994).

Rappelons que si les sources de COV sont très nombreuses, on retrouve au premier rang des émetteurs les transports (surtout automobiles). On notera également que la biomasse est fortement émettrice (forêts), sans oublier non plus les émissions liées aux produits domestiques (peinture, produits d'entretien, parfums et cosmétiques, journaux, tabac, etc.) (Citepa, 2001a, web).

5. Dioxyde de soufre SO_2 : Les rejets de SO_2 sont dus en grande majorité à l'utilisation de combustibles fossiles soufrés. De très fortes diminutions ont été observées depuis 1980. Les transports routiers participent pour une faible part aux émissions et les normes sont de plus en plus sévères quant aux teneurs en soufre des carburants. En se transformant en acide sulfureux (H_2SO_3) ou en acide sulfurique (H_2SO_4), le SO_2 a longtemps été le principal responsable des phénomènes d'acidification (pluies acides). Ces acides très agressifs s'attaquent aux roches calcaires (dégâts sur les bâtiments, le marbre y compris) mais aussi aux végétaux (Schütz, 1995). Depuis, ce sont davantage les oxydes d'azote qui sont à l'origine des phénomènes d'acidification.

5. Les particules : Le terme "particule" concerne, en général, les aérosols créés par la dispersion dans l'air de solides et de liquides atomisés, poudres ou gouttelettes et implique donc les termes de poussières, fumées, suies, brumes, brouillards, smog. Le terme "particules en suspension" concerne essentiellement les poussières de taille inférieure à 10 μm dont la vitesse de sédimentation est lente, les particules plus grosses ayant tendance à retomber rapidement près de la source d'émission (Degobert, 1992). Notons que les particules ayant un diamètre inférieur à 10 μm sont désignées par le terme PM_{10} (Particulate Matter), celles ayant un diamètre inférieur à 2,5 μm : $\text{PM}_{2,5}$, etc. Le temps de séjour pour les poussières de l'ordre de 1 μm (particules diesel essentiellement) est proche de 10 jours (Setra et Mazoue, 1994) ; d'une manière générale, les particules fines (PM_{10}) se comportent comme un gaz (loi de STOCKES).

Les particules en suspension constituent un ensemble très hétérogène dont la qualité, sur le plan physique, chimique et/ou biologique est fort variable selon que les sources d'émissions sont locales ou plus éloignées, selon la saison (variation de la chimie atmosphérique) (SFSP, 1996) ; les diverses méthodes de mesures employées donnent des résultats eux-mêmes très hétérogènes.

Les poussières libérées dans l'atmosphère participent à divers processus : le dépôt sur le sol et la végétation, la formation d'aérosols et sont les catalyseurs de réactions chimiques (SANEF et ARGOPOL, 1995).

D'un point de vue biologique et sanitaire, ce sont les particules les plus fines qui sont les plus préoccupantes ; or les particules émises par les pots d'échappement sont de très petite taille (notamment pour les particules diesel qui sont responsables de 87 % des particules émises par le trafic) (SFSP, 1996)

⇒ **Les particules diesel :** Les particules diesel présentes dans l'atmosphère sont de très petite taille, inférieure au micron. Leur composition et leur granulométrie ne sont pas parfaitement connues. Leur composition peut être schématiquement décrite comme un squelette de carbone recouvert d'une phase organique composée principalement d'imbrûlés provenant du carburant et du lubrifiant. Cette phase imbrûlée comprend plusieurs centaines de composés avec, notamment, des HAP. Les particules diesel de très petite taille (diamètre aérodynamique moyen de 0,5 μm) constituent aujourd'hui la plus grande part des poussières en suspension en milieu urbain. C'est-à-dire que, par delà la diminution des concentrations en particules de l'air qui a pu être observée depuis 20 ans (mesures par la technique des fumées noires), la nature des particules a aussi évolué. Tout laisse à penser que les particules présentes aujourd'hui dans l'air urbain présentent, par leur taille et leur composition chimique, une nocivité plus marquée que celles qui étaient historiquement associées aux processus de combustion industriels et du chauffage résidentiel traditionnel (SFSP, 1996).

Remise en suspension des particules : Initialement issues des gaz d'échappement et de l'usure des matériaux, une partie des particules émises et rapidement déposées sont remises par la suite en suspension sous l'effet du passage des véhicules. Chevrier et Valette (1998, p. 87) ont étudié la contribution du trafic à la teneur en particule dans l'air urbain. Les auteurs concluent que 60% de cette concentration est liée au trafic suivant la répartition suivante : 30% issue des diesels et 30% à la remise en suspension qui est donc un phénomène à ne pas négliger.

6. Les métaux lourds : Il apparaît que les freins sont une importante source de métaux, principalement de cuivre, de zinc et de plomb, tandis que les pneus sont une source de zinc. Le zinc et le cadmium sont également issus des lubrifiants. En ce qui concerne les carburants, seule l'essence plombée est une source de polluants métalliques, et il est généralement admis que 75% du plomb contenu dans l'essence est émis dans les gaz d'échappement des moteurs (Legret Et Pagotto, 2001; Malbreil, 1997). Pagotto (1999, P. 115) a évalué les flux de métaux lourds provenant de la corrosion des barrières de sécurité galvanisées soit, pour un kilomètre : 440 g/an de particules solides, 1045 g/an de zinc, 2,1 g/an de plomb, 0,23 g/an de cuivre, et 0,16 g/an de cadmium.

Des poussières sont émises par les pots catalytiques : des métaux précieux (platine, palladium, rhodium, cérium, etc.) (Malbreil, 1997), mais aussi du nickel, du cuivre, du chrome (faibles quantités) (Parmentier et Garrec, 1994).

On peut également ajouter à la liste le magnésium, l'aluminium, le fer ; le molybdène (lubrifiant) ; le baryum et le cobalt (huiles de graissage), le sélénium (lubrifiant, plaquettes de frein) ; l'arsenic et le chrome (garnitures de frein, disques d'embrayage, transmissions automatique, etc.) (Parmentier Et Garrec, 1994).

Le manganèse : est issu des carburants contenant du MMT (methyl cyclopentadienyl manganèse tricarbonyl), substitut antidétonant du plomb. Le manganèse est un polluant étudié essentiellement au Canada, un des seuls pays où il a été adopté comme antidétonant (Lytle *et al.*, 1995). Ce composé entraîne des risques de bouchage des supports catalytiques (Degobert, 1992, p. 44).

Le Plomb :

Il était principalement émis par le trafic automobile jusqu'à l'interdiction de l'essence plombée le 01/01/2000 (arrêtés du 23 décembre 1999 pris en vertu de la directive 98/70/CE) qui a été remplacée par un carburant additive au potassium (additif « ARS » - antirécession de soupape) (URF, 2001a, web).

⇒ **Rôle du plomb :**

Dans les anciens moteurs, le plomb servait à améliorer l'indice d'octane de l'essence. L'indice d'octane mesure la résistance aux cliquetis, un phénomène susceptible d'endommager le moteur, et améliore la combustion. On dit que le plomb est un anti-détonant. De plus, le plomb avait aussi un rôle de lubrifiant sur les sièges de soupapes.

Le plomb ajouté à l'essence est un poison pour les pots catalytiques. Il se dépose sur les catalyseurs et annule l'efficacité de ces derniers.

Comme les nouvelles voitures sont toutes équipées de pots catalytiques, on a donc décidé de supprimer le plomb dans l'essence à partir du 1er janvier 2000 dans tous les pays européens.

L'Algérie est un des derniers pays au monde où l'essence plombée est encore largement utilisée.

⇒ **Impact du plomb :** (J. D, Butler ,1979 ; J.P. Olivier, J.P. Vidal et R. Stroebel, 1990 ; Kerchich. Y, Rabahi. M, 1996)

Le plomb est un poison du système nerveux et ses effets sont connus en pathologie du travail par suite d'accidents qui ont eu lieu dans les usines du plomb tétra éthyle et plomb tétra-méthyle.

Le plomb organique se fixe préférentiellement dans le cerveau d'où des manifestations toxiques particulières. En ce qui concerne le plomb minéral, le problème est différent. D'une part, on connaît parfaitement les caractéristiques de l'intoxication saturnine telle qu'elle peut résulter de l'ingestion de quantité de plomb relativement élevée, d'autre part, quelque soit la voie de pénétration du plomb, il est véhiculé par le sang et est distribué à raison de 94% dans les os (période de l'ordre de 30 ans) et de 6% dans les autres tissus dont 4% dans le sang (période de l'ordre de 1 mois).

Il faut tenir compte du fait que le plomb ingéré, aussi bien par la voie respiratoire que la par voie digestive, n'est pas entièrement retenu par les poumons et les intestins mais qu'une partie est normalement éliminée par le corps.

Des dosages ont été faits sur le sang et les urines (tableau 1) la première donne une mesure de ce que l'organisme a pu fixer, le second de ce qu'il peut éliminer.

Tab 1 : des Résultats D'analyses D'échantillons Biologiques.

(J. D, Butler ,1979)

| concentrations du plomb | dans l'urine en $\mu\text{g/L}$ | dans le sang en $\mu\text{g}/100\text{g}$ |
|--|---------------------------------|---|
| Personnes non exposées professionnellement (absorption « normale » de plomb) | 10-60 | 20-40 |
| Personnes professionnellement exposées (absorption normale de plomb sans signes cliniques d'intoxication). | 60-150 | 40-70 |
| Personnes professionnellement exposées (absorption dangereuse de plomb) | 150-200 | 70-80 |

L'action toxique essentielle du plomb minéral est une perturbation de la biosynthèse de Hémoglobine, ceci se traduit notamment par une légère anémie hypochrome parfois les hématies à granulations basophiles, dites « ponctuées », et toujours une augmentation de la plombémie. Le plomb peut aussi provoquer une atteinte du rein avec hyperazotémie. C'est surtout en milieu urbain (trafic routier dense) que l'impact de la pollution par le plomb sur la santé est considérable. Les jeunes enfants sont les plus exposés, spécialement au niveau du système nerveux. En effet, il est connu depuis longtemps qu'une forte exposition au plomb induit chez l'enfant une inhibition du développement neuropsychologique qui se traduit par une baisse du quotient intellectuel et des difficultés scolaires.

III.2. Cadre juridique :

Dans le domaine des transports, les normes réglementaires en matière de pollution atmosphérique concernent les émissions de polluants atmosphériques. Les normes d'émissions sont également le fruit d'un compromis entre les différents acteurs impliqués dans la pollution de l'air. Selon (Georgiades, 1987), une norme d'émissions résulte avant tout d'un arbitrage politique établi sur la base d'un état des lieux de l'environnement et d'un arbitrage socio-économique dans lequel le poids économique et social de l'industrie des véhicules ainsi que les termes de la concurrence avec les autres constructeurs sont des éléments déterminants. La rationalité économique n'intervient qu'à posteriori, comme justification des choix fondés. Le degré de sévérité de la norme limite le choix technologique, ce qui peut avoir des conséquences économiques importantes (monopole ou dépendance d'un savoir faire technologique par exemple). La réglementation ne constitue pas cependant un pari technologique, les valeurs d'émissions retenues sont ainsi nécessairement respectées par le recours à des technologies disponibles dont les impacts sont assez bien appréhendés. La plupart des normes d'émissions sont plus ou moins liées aux impacts des polluants atmosphériques. Parmi les normes d'émissions qui découlent des différentes réglementations, celles concernant les véhicules routiers sont les plus abondantes. Elles réglementent, sur un cycle standardisé, les émissions de monoxyde de carbone (CO), d'hydrocarbure (HC), de particules (PM) et d'oxydes d'azote (NOx). Les normes de l'Union Européenne Euro 1 à 5 transférées dans le droit français permettent de réglementer par ailleurs tous les types de véhicules routiers (véhicules particuliers, véhicules utilitaires, deux-roues...) d'une manière spécifique à chaque classe de nouveaux modèles ou de nouveaux véhicules et à la technologie employée, en fonction de leur année de sortie (Hugrel, 2004; Hugrel & coll.,2006).

Tab 2 Valeurs limites de quelques polluants atmosphériques

(Piervittori, R et Maffei, S; 2001)

| Polluant | Union Européenne | OMS |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Plomb (Pb) | 0,2 µg/m ³ | 0,5 µg/m ³ |
| Arsenic (As) | - | - |
| Cadmium (Cd) | - | 5ng/m ³ |
| Nickel (Ni) | - | 20 ng/m ³ |
| Mercure (Hg) | 50 ng/m ³ | - |
| Particules en suspension | 20ng/m ³ | 10 ng/m ³ |

IV. Situation du trafic routier en Algérie :

Le parc national automobile (PNA) a totalisé 5.683.156 véhicules à fin 2015, en hausse de 4,75 % (250.000 unités de plus) par rapport à l'année précédente (ONS, 2015). Il est observé, cependant, que le nombre des immatriculations des véhicules particuliers neufs a diminué passant de 301.722 unités en 2014 à 257.589 en 2015, soit une baisse de 14,63 %, indiquent les chiffres consolidés de l'ONS. C'est surtout de 2011 à 2013 que le parc automobile algérien a connu la plus forte croissance. Par catégorie de véhicules, le PNA est constitué essentiellement des véhicules de tourisme

avec 3.655.033 unités (64,31% de la totalité), des camionnettes avec 1.140.565 (plus de 20%), des camions avec 402.189 (7,08%), des tracteurs agricoles avec 151.538 (2,67%), des remorques avec 139.199 (2,45%), des autocars et autobus avec 83.682 (1,47%), des motos avec 23.436 (0,41%) et des véhicules spéciaux avec 5.255 (0,09%).

La répartition du PNA selon les tranches d'âge des véhicules montre que le nombre des moins de 5 ans a atteint 1.368.549 unités (24,08 % de la totalité du parc à fin 2015), des 5 à 9 ans à 892.196 véhicules (15,70%), des 10 à 14 ans à 508.815 (8,95%), des 15 à 19 ans à 187.067 unités (3,29%), des 20 ans et plus à 2.7726.529 (47,98%). C'est donc un parc automobile qui est très âgé.

Concernant la répartition du PNA par wilaya, l'ONS relève que les cinq premières wilayas qui comptent le plus grand nombre de véhicules sont Alger avec 1.496.561 unités (26,33% de la totalité), suivie de Blida avec 311.024 (5,47%), Oran avec 293.156 (5,16%), Constantine avec 204.843 (3,60%) et Tizi-Ouzou avec 199.507 (3,51%). Quant aux types de carburants utilisés, l'organisme public des statistiques confirme que l'essence est la plus importante source d'énergie pour les véhicules avec une part de 65,67%, contre 34,33% pour le gasoil.

Le taux de motorisation est relativement faible, il s'élève à l'échelle nationale à 150 véhicules/ 1000 hab. ce taux est plus élevé à Alger 407 véhicules/ 1000 hab.



Fig.1 : Trafic routier en Algérie.

Chapitre II
Dispersion des polluants
dans l'atmosphère

I. Dispersion et transport des polluants:

La pollution atmosphérique ne connaît pas de frontières. Les émissions polluantes sont transportées à des distances variables par les mouvements des masses d'air et les nuages. Pendant leur transport, les substances polluantes sont transformées, l'atmosphère fonctionnant comme une véritable usine chimique. La dispersion des polluants dans l'air résulte de nombreux facteurs. Cependant, la qualité de la dispersion influe directement sur la qualité de l'air : si la dispersion est bonne, les concentrations peuvent rester faibles malgré des rejets importants. A contrario, si la dispersion se fait mal, des émissions relativement limitées peuvent suffire à dégrader la qualité de l'air. Ainsi, il s'agit d'un paramètre très important, qui se situe au cœur de notre problématique : l'objectif n'est pas d'étudier les paramètres de dispersion en tant que tels, mais de montrer – dans le cadre des espaces montagnards – que les caractéristiques spatiales du site influencent fortement la dispersion. Autrement dit, les chiffres de trafic ne sauraient suffire à comparer les sites entre eux, et encore moins à estimer un risque. La variable spatiale montre ici toute son influence et sa dimension explicative. Cependant la capacité dispersive d'un site est loin de s'expliquer par l'action d'un seul facteur; ils sont nombreux à jouer un rôle.

II. Quels facteurs météorologiques influent la dispersion des polluants ?

Deux groupes de facteurs commandent la qualité de la dispersion des polluants émis : les paramètres météorologiques et topographiques.

III. Généralités sur les mouvements d'air dans la basse atmosphère :

La dispersion des polluants émis dépend de phénomènes ayant lieu dans les basses couches de l'atmosphère. La couche d'air située à proximité du sol est appelée couche-limite atmosphérique. Les termes de couche de mélange, couche turbulente ou couche géographique (du fait de l'influence de la surface terrestre (Estienne Et Godard, 1993) sont parfois employés.

- **La couche-limite atmosphérique :** (CLA) est influencée par les conditions imposées à ses limites, c'est-à-dire le sol d'une part, et l'atmosphère libre.

D'autre part, ce qui lui confère les caractéristiques suivantes : une épaisseur d'environ un dixième de celle de la troposphère (soit 1,2 km d'altitude environ en moyenne, bien qu'elle puisse varier de 0 à 3 km) et des déplacements d'air complexes et désordonnés. La CLA est une zone de transition où l'air est soumis à trois forces : la pression atmosphérique, les frottements et la force de Coriolis (qui entraîne une déviation des mouvements d'air du fait de la rotation de la Terre) (ROUL, 1998).

✓ **La couche limite turbulente :** est en contact direct avec le sol. L'épaisseur de cette couche dépend donc de l'état de rugosité de ce dernier. La couche limite turbulente est de ce

fait caractérisée par des mouvements d'air turbulents hétérogènes. Son épaisseur varie de quelques centimètres à quelques mètres.

✓ **La couche limite de surface** : est caractérisée par des mouvements turbulents mais mieux organisés. La direction des vents est constante et la température potentielle varie rapidement. Sa hauteur varie de quelques mètres à 50 voire 100 mètres.

✓ **La couche d'Ekman** : c'est la zone de transition entre la couche limite de surface et l'atmosphère libre. Avec l'altitude, les vents se soustraient à l'influence des frottements terrestres. La hauteur de cette couche est comprise entre 50 mètres et 2000 mètres (Roul, 1998; Durrieu, 1999).

⇒ Au sein de la CLA, la pression atmosphérique, l'humidité de l'air et la température sont liées les unes aux autres. L'influence de la force de Coriolis n'est pas abordée ici car elle concerne les hautes altitudes et donc des niveaux de transport de polluants dépassant le cadre de cette étude.

La pression atmosphérique : Les situations dépressionnaires (basses pressions) correspondent généralement à une turbulence de l'air assez forte et donc de bonnes conditions de dispersion. En revanche, des situations anticycloniques (hautes pressions) où la stabilité de l'air ne permet pas la dispersion des polluants entraînent des épisodes de pollution. Ceci s'explique par la relation directe qui lie la mise en place des vents et les variations de la pression atmosphérique dont on rappelle la décroissance avec l'altitude.

Le vent. : De manière très schématique (en faisant abstraction de l'influence des mouvements terrestres et de la rugosité de la surface du globe), le vent est un mouvement d'air visant à rétablir l'équilibre entre les zones de haute pression (les anticyclones) et les zones de basse pression (les dépressions). C'est un facteur essentiel expliquant la dispersion des émissions polluantes. Le vent intervient tant par sa direction pour orienter les émissions dans une direction que par sa vitesse pour les diluer. La dispersion des polluants augmente avec la vitesse et la turbulence du vent. En revanche, lorsque les vents sont faibles, le poids de l'influence du relief local est fort et des brises apparaissent au gré des contrastes thermiques.

La température et le rayonnement : Ces deux paramètres, fortement corrélés, agissent sur la chimie des polluants : le froid diminue la volatilité de certains gaz tandis que le rayonnement estival est favorable aux réactions photochimiques. La température d'une masse d'air varie en fonction de l'altitude car les gaz qui la compose possèdent une énergie interne, l'énergie cinétique qui dépend de la pression et qui commande leur état thermique : comprimés ils s'échauffent, soumis à une détente ils se refroidissent (Estienne et Godard, 1993). Cependant, la relation qui lie la température d'une masse d'air s'élevant (et dont la pression baisse) varie selon le degré d'humidité de l'air, mais reste linéaire.

L'humidité : Son rôle de modérateur vis-à-vis des variations de température des masses d'air en mouvement sera détaillé dans le paragraphe consacré au gradient thermique car l'humidité atmosphérique joue aussi d'autres rôles. Un des principaux est le « captage » des

particules polluantes par les gouttelettes d'eau en suspension. En retenant les polluants, elles accroissent leur stagnation et peuvent finir par concentrer ces substances, ce qui n'est pas sans conséquences en montagne, où pluies et brouillards sont plus fréquents (Dambrine *et al.*, 2001). Enfin, la nébulosité, en relation avec l'humidité de l'air joue également un rôle en réduisant le rayonnement solaire et limitant ainsi un peu la photochimie.

Le gradient thermique vertical de la température de l'air : Le gradient thermique vertical permet de déterminer si l'air est stable ou instable, ce qui est primordial vis-à-vis du problème de dispersion de la pollution.

La pression variant rapidement en fonction de l'altitude, tout déplacement vertical d'une masse d'air s'accompagnera d'une détente s'il s'agit d'une élévation ou d'une compression s'il s'agit d'une subsidence. L'air étant un très mauvais conducteur de chaleur et les mouvements verticaux étant suffisamment rapides, il est admis que la masse d'air se déplaçant n'échange pas de chaleur avec l'atmosphère environnante. Elle subit une transformation adiabatique (du grec *adiabatos*, impénétrable (Pedelaborde, 1970)) selon laquelle l'air s'élevant se refroidit et de l'air descendant se réchauffe. Les lois de la thermodynamique permettent de calculer ce gradient thermique. Ainsi, avec de l'air non saturé en vapeur d'eau, le gradient thermique est de $0,98^{\circ}\text{C}$ pour 100 m de dénivellation (c'est l'adiabatique sèche). Avec de l'air saturé, le problème est plus complexe. En effet, l'eau contenue dans l'air limite son refroidissement en se condensant, ou son réchauffement en s'évaporant. De plus, l'eau déjà liquide présente dans l'air aura, par sa forte chaleur massique, un effet modérateur sur les variations de température. Pour ces deux raisons, l'air saturé en vapeur d'eau ne voit sa température varier que de $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ c'est l'adiabatique humide ou saturée (ou encore pseudo-adiabatique) (Durrieu, 1999 ; Estienne et Godard, 1993). D'une manière générale, dans n'importe quelle région du globe, pour une masse d'air dont l'humidité est « normale », la décroissance thermique est voisine de $0,65^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ (Pedelaborde, 1970). Cela constitue le gradient thermique « réel » observé généralement.

➤ **Stabilité et profil de température :**

La stabilité de l'atmosphère peut se déduire du profil vertical de température. Plusieurs cas sont possibles.

Stabilité absolue : Lorsque la diminution de température de l'air est inférieure à $0,5^{\circ}\text{C}$ pour 100 mètres, l'atmosphère est stable qu'elle soit saturée en vapeur d'eau ou non (d'où le terme de stabilité absolue), c'est-à-dire qu'une couche d'air froid est dominée par une couche plus chaude. L'air froid dense reste alors naturellement sous la couche chaude plus légère (THILLET, 1997). La stabilité de l'air s'oppose à une bonne diffusion des polluants.

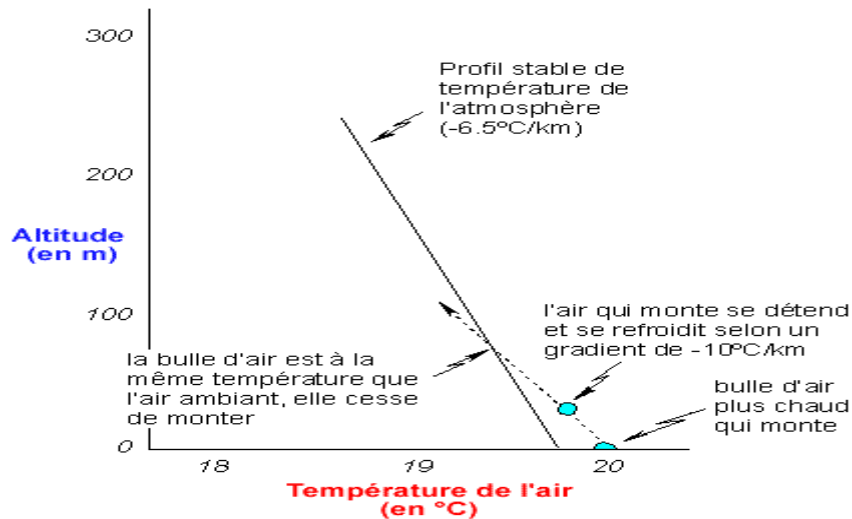


Fig. 2 : Profil stable de température de l'atmosphère.

(Kerbachi , 2016)

Instabilité absolue : Quand la baisse de température de l'air est supérieure à 0,98°C pour 100 mètres, l'atmosphère est instable qu'elle soit saturée ou non en vapeur d'eau. Il s'agit des situations où l'air des basses couches, fortement réchauffé par le sol – souvent après plusieurs jours de grande chaleur –, s'allège et monte rapidement à travers les couches supérieures (THILLET, 1997). L'instabilité favorise les mouvements ascendants et donc la dispersion de la pollution, rapidement entraînée vers le haut.

Instabilité conditionnelle : Si le refroidissement de l'air pour une élévation de 100 mètres est compris entre 0,5°C et 0,98°C, l'état de stabilité de la couche atmosphérique dépend de la quantité d'eau qu'il contient. Celle-ci peut varier en fonction de l'altitude. Il faut alors la connaître pour pouvoir déterminer la stabilité. D'une manière générale, s'il est aisé de prendre parti dans les situations tranchées (stables ou instables), c'est beaucoup plus délicat dans les cas intermédiaires. Avec une instabilité conditionnelle, il suffit d'un changement imperceptible dans la distribution verticale de la température ou de l'humidité (un échauffement plus ou moins grand de l'air au contact du sol, par exemple) pour faire basculer, au moins localement, l'atmosphère d'un état stable à un état instable (THILLET, 1997).

✚ **Inversion thermique :** Lorsque le gradient de température est positif, on parle d'inversion thermique car le gradient thermique vertical est opposé au gradient adiabatique habituellement rencontré dans la troposphère. On dit également que l'atmosphère est stratifiée : les déplacements verticaux ne sont pas possibles. La couche d'inversion constitue alors un couvercle qui empêche les échanges entre les couches inférieures et l'atmosphère du dessus. Ainsi, en cas d'inversion thermique, les polluants sont bloqués dans les basses couches de l'atmosphère. Les inversions de température sont caractérisées par le niveau auquel se situent l'inversion et la différence de température existant de part et d'autre du niveau d'inversion.

Plus l'inversion est basse, plus les polluants se concentrent dans les basses couches de l'atmosphère.

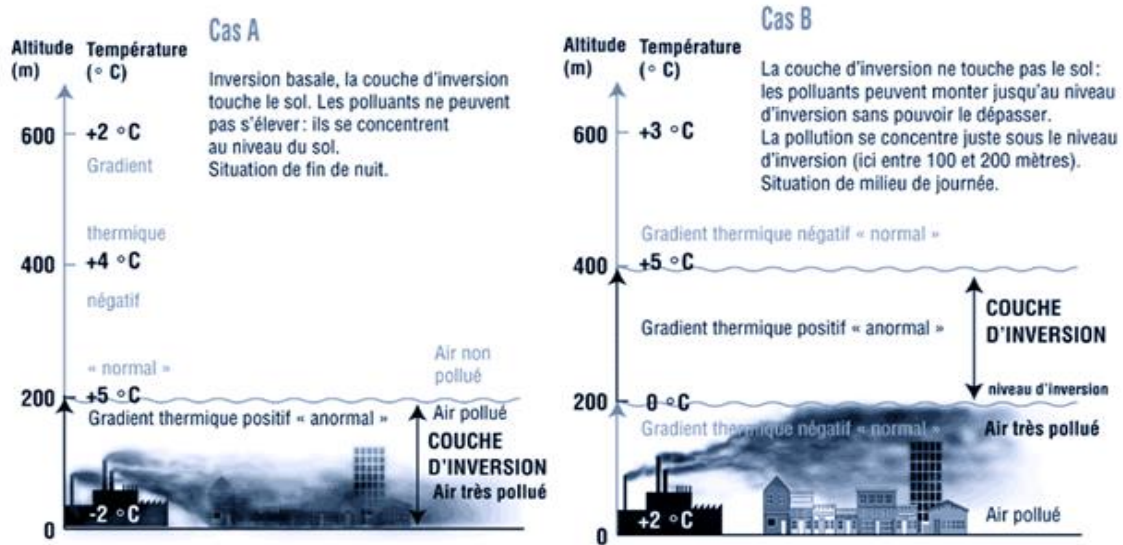


Fig. 3 : Phénomène d'inversion du gradient thermique vertical de l'air

(Source : ac-amiens.fr)

IV. Spécificité des phénomènes météorologiques en montagne – Influence de la dimension spatiale :

Au niveau des vallées, les principales caractéristiques de la météorologie montagnarde sont mises en évidence par l'existence de brises de relief ou brises de pente. Il s'agit des brises d'aval et des brises d'amont.

Brise d'aval ou brise montante : L'échauffement des pentes au soleil favorise la création d'ascendances, car le sol élève la température de l'air à son contact, le rendant ainsi bien plus léger que l'air ambiant au même niveau. Les ascendances provoquent un appel d'air, dans la mesure où celui qui s'échappe vers le haut doit être renouvelé. Tout naturellement, l'air de la vallée comble le déficit. Ainsi, depuis les plaines bordant les montagnes, s'organise un flux à travers les vallées, en direction des sommets : la brise d'aval ou brise montante. Elle s'établit en milieu de matinée et s'éteint avec le coucher du soleil. En moyenne, la brise d'aval atteint 15 à 20 km/h en été au cours des belles journées ; elle est peu perceptible en plein hiver. La brise d'aval est d'autant mieux organisée qu'il fait chaud. C'est donc, avant tout, un vent de printemps et d'été. Pourtant elle n'est pas sans influence l'hiver. En effet, dans les situations à mer de nuage, une vallée haute qui est juste au-dessus de la nappe de nuage en début de journée voit celle-ci l'envahir sous l'effet de la brise. De nuit, le nuage se replie vers la basse vallée, rejoignant sa base en quelque sorte. Un flux et un reflux accompagnent le cycle du soleil et n'avantagent pas le secteur sous leur influence : dans la nuit le ciel est clair, ce qui entraîne de fortes gelées, en journée le brouillard monte à l'arrivée du soleil et le dissimule. En favorisant le transfert de chaleur en altitude et en drainant vers les sommets l'humidité des

plaines et des vallées, la brise d'aval facilite la formation de nuages sur le relief (Thillet, 1997).

Brise d'amont ou brise descendante : (figure4) Au cours des nuits dégagées, le sol rayonne sa chaleur vers l'espace, donc se refroidit. L'air à son contact voit sa température baisser aussi : il s'alourdit. Par simple densité il coule vers le bas se rassemblant en multiples « ruisseaux », qui suivent les couloirs, sautent les falaises, et se réunissent dans la vallée. L'air froid s'accumule sur une plus ou moins grande épaisseur (de l'ordre de 100 à 200 m) selon la configuration de la vallée, la largeur de son débouché. Il s'écoule facilement vers la plaine dans le cas d'une vallée en pente régulière et bien ouverte ; il a tendance à s'épaissir dans les dépressions à l'issue rétrécie. La brise d'amont est souvent peu perceptible par l'homme et s'établit peu après la fin de la brise d'aval : c'est le « renversement de brise ».

Ici encore, la qualité du ciel intervient. Clair, il permet un refroidissement accusé donc favorise la brise d'amont ; très nuageux, ou à plus forte raison couvert, il contrarie la baisse de température donc annihile la brise nocturne.

Quand, par beau temps calme, existe un lac d'air froid dans la vallée, les brises d'amont, moins froides, ne peuvent franchir l'inversion : elles tombent en cascades des versants puis glissent à la surface du « lac ». Dans les vallées étroites, des brises venant de pentes opposées peuvent alors s'affronter et donner une turbulence locale inattendue (Thillet, 1997)

D'une manière générale, les brises sont caractéristiques des périodes calmes de beau temps. Elles connaissent un rythme diurne et saisonnier : la brise d'aval est très peu sensible à partir de l'automne, reprend un peu de sa vigueur au printemps pour atteindre son maximum en été. En régime perturbé, soit elles n'existent pas (absence de contrastes thermiques radiatifs par ciel couvert), soit elles s'effacent devant le courant général ou les turbulences.

Le régime des brises (heure de début, de fin, force...) est propre à chaque vallée ou versant, dépendant de la configuration topographique (par exemple, les brises se renforcent là où les versants se rapprochent et rétrécissent l'écoulement), de l'exposition à l'insolation, de la présence ou non de masses glaciaires. Parfois les brises d'amont sont plus intenses en hiver quand les pentes et les sommets sont recouverts de neige (rayonnement plus actif donc fabrication d'air plus froid).

On observe également des courants froids qui soufflent dans le lit des torrents. L'air se refroidit au contact de l'eau très froide et coule vers la vallée. Quand l'air ambiant est très humide (pendant ou après la pluie), son mélange avec l'air froid qui accompagne le torrent crée une espèce de brouillard sur quelques mètres au dessus de l'eau.

Les brises sont un facteur essentiel du climat montagnard. En été, par beau temps, la montagne aspire beaucoup plus d'air qu'elle n'en rejette (brise d'aval plus puissante et plus durable que la brise d'amont). L'humidité qui monte de la plaine couronne souvent les sommets de nuages, au moins en fin d'après-midi. En hiver, la brise d'amont est largement prépondérante pendant les périodes anticycloniques. Elle établit un circuit d'air asséché au

Contact de la neige des versants (par condensation contre la surface froide), et purifié puisqu'il descend des sommets. Cet air se répand dans les vallées et s'échappe en direction des plaines périphériques (Thillet, 1997).

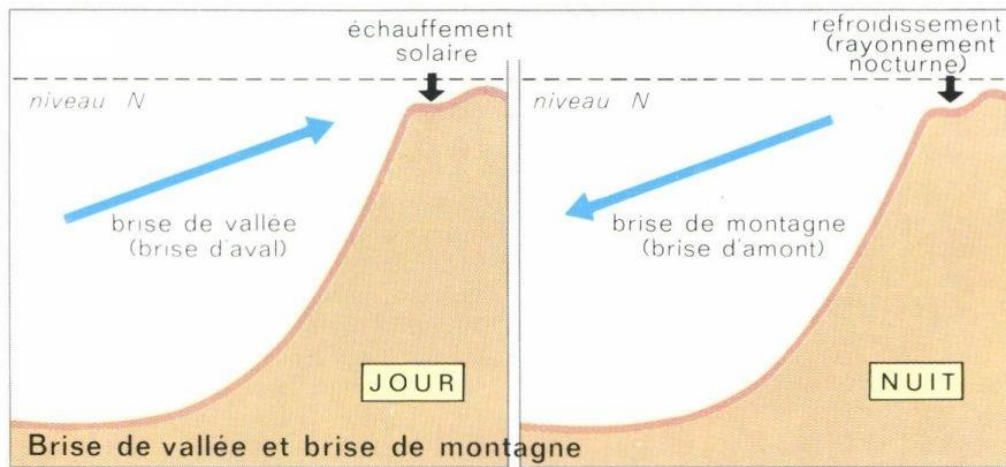


Fig.4 : Brise d'amont et d'aval des vallées.

(Larousse, En ligne)

Brises de mer et brises de terre :

Elles expriment des phénomènes très localisés. La brise de mer se manifeste normalement jusqu'à 500 m d'altitude et jusqu'à 40 km au plus dans l'intérieur des terres. Sa vitesse reste faible, ne dépassant pas 4 ou 5 m/s. Il est vrai que ces chiffres peuvent être très largement dépassés entre les tropiques. Les brises sont des vents thermiques qui correspondent à une alternance diurne avec renversement de la direction du souffle entre le jour et la nuit. Sous l'action solaire, la surface de la mer s'échauffe, beaucoup moins que la terre ; de nuit, le rayonnement fait perdre davantage de chaleur au sol qu'à l'eau. Ainsi, de jour, la terre constitue, par rapport à la mer, un centre chaud, dépressionnaire et aspirateur, au-dessus duquel l'air s'élève (d'où, présence de la brise de mer), alors que, de nuit, c'est l'inverse qui se produit (brise de terre) [figure 5 et 6] En l'absence de vents plus généraux venant en perturber l'ordonnance, les brises de mer soufflent du matin jusqu'au soir et les brises de terre, du soir au matin. Les premières sont plus fortes que les secondes, car les différences d'échauffement diurne entre terre et mer l'emportent sur les différences nocturnes (Larousse, En ligne)

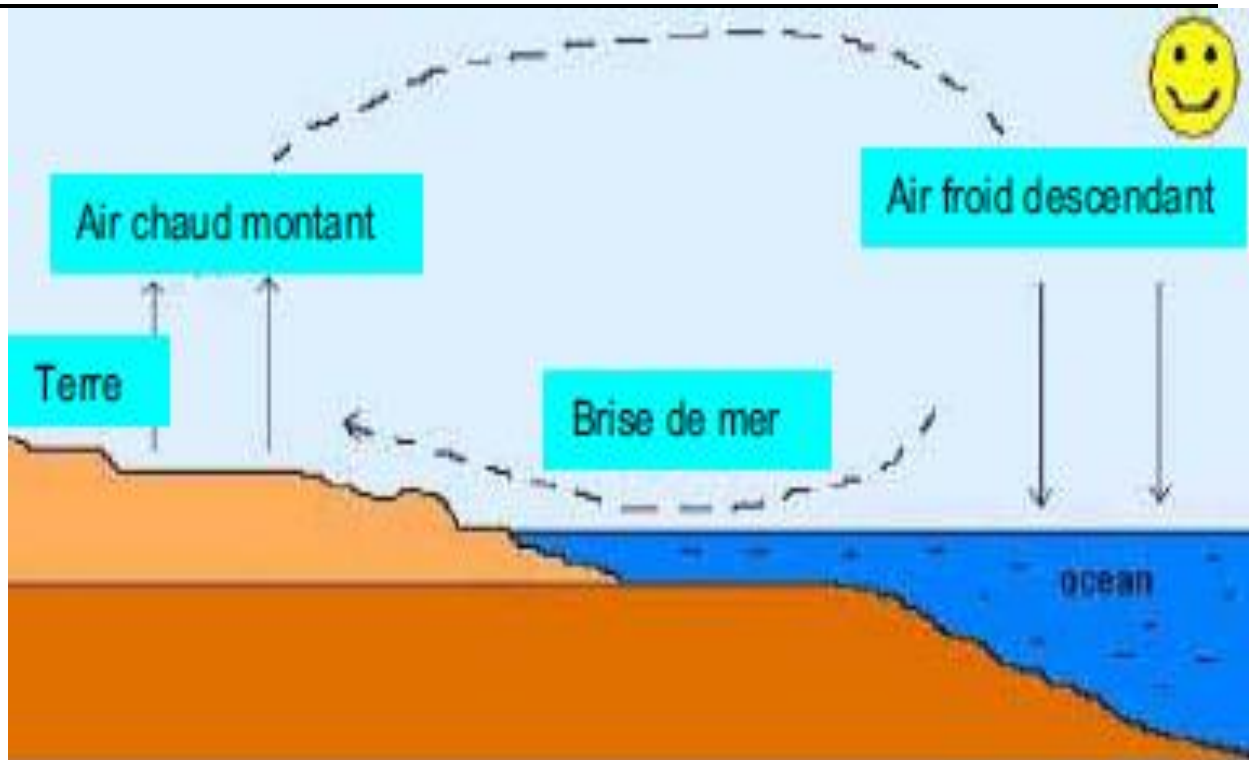


Fig.5 : Brise de mer.

(Pénelon , 2013)

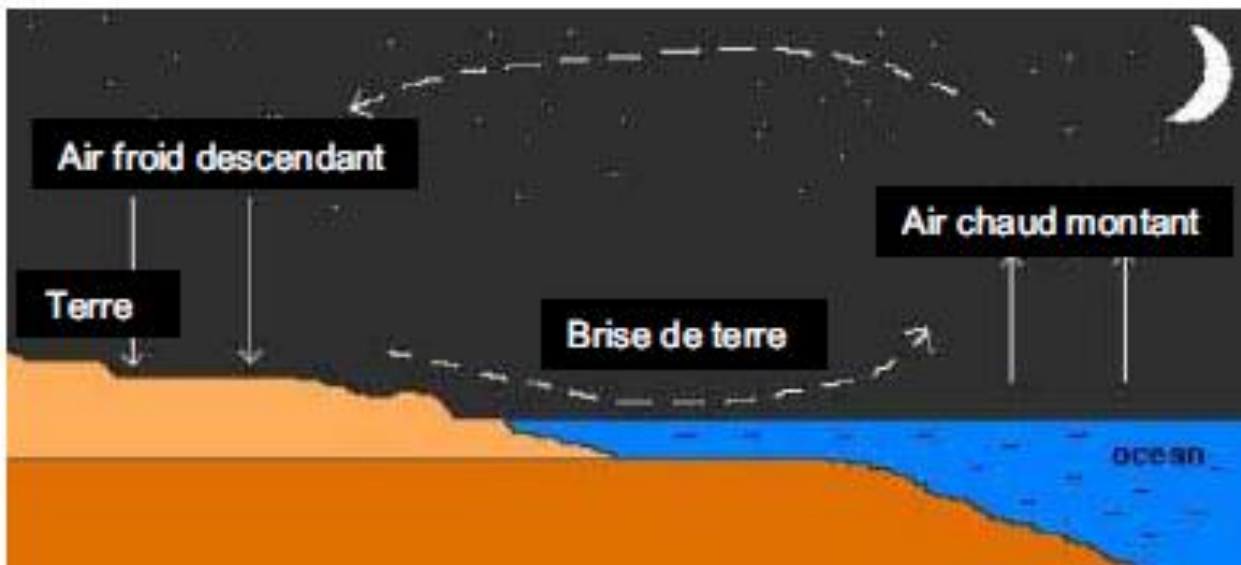


Fig.6 : Brise de terre.

(Pénelon , 2013)

V. Calcul de la dispersion des polluants atmosphériques :

Il existe plusieurs modèles plus ou moins complexes de calcul de la dispersion des polluants. L'un des modèles qui est relativement simple et usuellement utilisé est le modèle de Gauss que nous avons utilisé dans notre travail.

Modèle de Gauss :

Le modèle de Gauss permet de calculer en tout point de l'espace la concentration d'un polluant issu d'une source émettrice fixe ou mobile (J. D, Butler ,1979)

Dans le modèle de gauss ou la diffusion est turbulente (la diffusion moléculaire est très faible et peut être négligeable, on suppose que la distribution de la concentration des polluants est gaussienne. Le modèle donne des équations de calcul de concentrations qui ne nécessitent pas une programmation informatique avec des résultats fiables.

Selon le type de la source émettrice, on considère deux cas :

V.1.a. Cas d'une source fixe d'émission :

L'équation qui donne la concentration des polluants dans l'espace suivant leur dispersion est la suivante (J. D, Butler ,1979 ; Stern ,1984):

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2.\pi.\sigma_y.\sigma_z.u} \cdot \left[e^{-\frac{(z-H)^2}{2.\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2.\sigma_z^2}} \right] \dots\dots\dots(1)$$

Avec :

Q : débit d'émission du polluant à la source en g/s

H : hauteur effective de la cheminée en m

σ_y, σ_z : dimensions latérale et verticale du panache en m

u : vitesse du vent en m/s

C : Concentration du polluant au point (x, y,z) en g/m³

La difficulté dans un modèle gaussien est d'évaluer la diffusion turbulente. Ce sont les écarts-types de distribution σ qui représentent la diffusion turbulente suivant les directions y et z dans cette équation. Ces coefficients dépendent des caractéristiques de l'écoulement, de la turbulence, de la stabilité de l'atmosphère et de la rugosité de la surface. Ils sont déterminés expérimentalement à partir d'essais à grande échelle sur les panaches de fumées. Il existe plusieurs corrélations pour déterminer les écart-types dont celles de Pasquill qui dépendent de la distance à la source et des classes de stabilité atmosphérique et celles de Doury qui dépendent du temps de transfert.

Dans un panache de fumée (figure 7), les dimensions du panache σ_y et σ_z sont calculées selon Pasquill en tenant compte de la vitesse du vent, de la radiation solaire et de la stabilité atmosphérique (J. D, Butler ,1979 ; Stern ,1984) , on a :

$$\sigma_y = a x^{0,903} \dots(2) \quad ; \quad \sigma_z = b x^c \dots\dots(3)$$

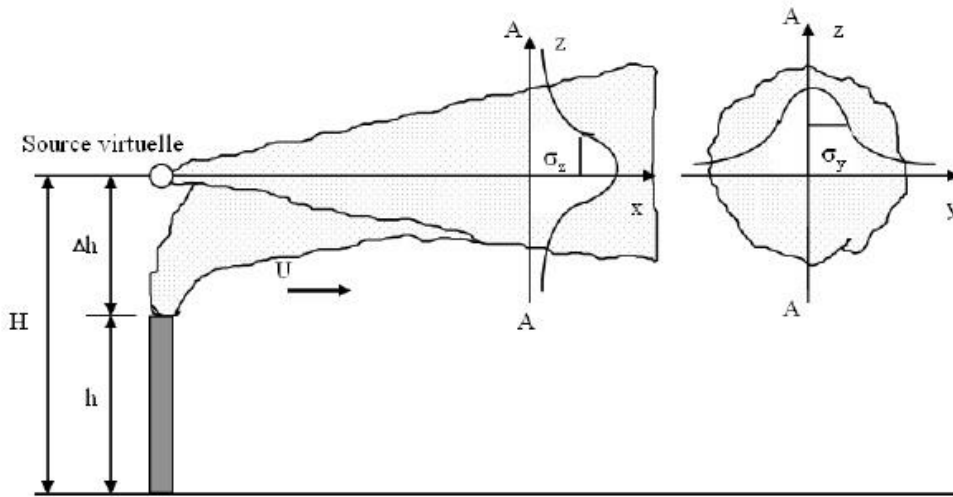


Fig. 7 : Représentation de la diffusion suivant le modèle du panache : modèle Gaussien.

(Anis khlaifi,2007)

a, b, c sont les paramètres de diffusion de Pasquill qui sont donnés par le tableau 3 :

Tab 3 ; les paramètres de Pasquill.

(J. D, Butler ,1979 ; Stern ,1984)

| La distance x (m) | x < x ₁ | | x ₁ | x ₁ < x < x ₂ | | x ₂ | x > x ₂ | | |
|-------------------|--------------------|-------|----------------|-------------------------------------|---------|----------------|--------------------|-----------------------|-------|
| | a | B | C | - | b | c | - | B | C |
| A | 0.4 | 0.125 | 1.03 | 250 | 0.00833 | 1.51 | 500 | 2.26.10 ⁻⁴ | 2.1 |
| B | 0.295 | 0.119 | 0.986 | 1000 | 0.0579 | 1.09 | 10000 | 0.0579 | 1.09 |
| C | 0.2 | 0.111 | 0.911 | 1000 | 0.111 | 0.911 | 10000 | 0.111 | 0.911 |
| D | 0.13 | 0.105 | 0.827 | 1000 | 0.392 | 0.632 | 10000 | 0.948 | 0.54 |
| E | 0.098 | 0.100 | 0.775 | 1000 | 0.373 | 0.587 | 10000 | 2.85 | 0.36 |

Par ailleurs et d'après Pasquill, les catégories de stabilité atmosphérique sont données en fonction de la vitesse du vent, de la radiation solaire et de la nébulosité: Classes A, B, C, D, E, F. (tableau 4)

Tab 4 : Catégories de stabilité atmosphérique.

(J. D, Butler ,1979 ; Stern ,1984)

| Vitesse du vent de surface (10m du sol m/s) | Ensoleillement (mW/cm ²) | | | Nuit | |
|---|--------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------------|------------------------|
| | Fort >60 | Modéré 60-30 | Faible <30 | Densité de nuage >4/8 | Densité de nuage < 3/8 |
| <2 | A | A-B | B | - | - |
| 2-3 | A-B | B | C | E | F |
| 3-5 | B | B-C | C | D | E |
| 5-6 | C | C-D | D | D | D |
| >6 | C | D | D | D | D |

V.1.b. Cas d'une source mobile :

Pour une infinité de sources comme c'est le cas dans le trafic routier ; on utilise le modèle donné par l'équation suivante (J. D, Butler ,1979 ; Stern ,1984) :

$$C(x; 0; 0; 0) = \left(\frac{2}{\pi}\right)^{1/2} \frac{Q}{\sigma_z \cdot u} \dots\dots\dots(4)$$

Q : débit d'émission du polluant à la source en g.s⁻¹.m⁻¹

u : vitesse du vent en m/s

C : Concentration du polluant au point (x, y,z) en g/m³

σ_z: Dimension verticale du panache en m

VI. Description de la zone :

Nous nous intéressons aux émissions du trafic routier qui peuvent affecter la population résidente à Alger.

Les émissions considérées proviennent de la RN 11. Cet important axe routier qui longe le littoral algérois constitue la principale pénétrante d'Alger est à double voie avec trois sens chaque voie. Le comptage que nous avons effectué à plusieurs reprises à différents heurs de la journée donne une fréquentation qui est de l'ordre de 48000 véhicules / jour (de 8h su matin a 20h) au mois de Mai.

Pour l'étude nous nous situons au niveau la route à proximité de la gare des ateliers (voire carte figure 8).

Chapitre II : Dispersion des polluants dans l'atmosphère

En ce point, nous allons considérer l'impact des polluants issus des véhicules sur la zone résidentielle de Belouizdad.

Cette zone présente une forte densité démographique qui s'élève à : 20000 habitants/km² (recensement 2008)



Fig. 8 : Présentation de la zone d'étude.

PARTIE B
Partie expérimentale

Chapitre III

Résultats et discussion

I. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons estimer la concentration du plomb atmosphérique issus des émissions de la RN 11 à différentes distances de l'axe routier et perpendiculairement a celui-ci et pour différentes vitesses de vent.

En cette zone les vents dominants sont nord et nord-est et dispersent donc la pollution de la RN 11 en direction de Belouizeded.

Les distances à l'axe routier considérées sont : 500m, 1000m et 1500m.

II. Données de base :

Afin de calculer le débit du plomb émis à la source (RN11), nous aurons besoin de plusieurs données (ONS), ces dernières sont citées dans le tableau 5 :

Tab 5 : Données de base

(ONS ,2015)

| | |
|------------------------------|-----|
| Véhicules roulants au diesel | 35% |
| Véhicules à essence | 65% |

⇒ 30% des véhicules roulant à l'essence sans plomb.

⇒ Le nombre de véhicules taraversant la zone étudiée est estimé à 48000 véhicules

A partir de ces données on détermine le nombre de véhicules qui émettent le plomb, soit N :

$$N = (48000 * 0.65) - (48000 * 0.65 * 0.3) = 21840 \text{ véhicules}$$

Sachant que la vitesse moyenne des véhicules est de 50km/h, le litre d'essence est consommé après 12.5km (8L/100km) et la teneur de l'essence en plomb est de 1.5g/L.

Donc le débit d'émission du plomb Q' pour chaque véhicule est calculé comme suit :

$$Q' = 1.5 * \frac{50 * 10^6}{12.5 * 3600}$$

$$\Rightarrow Q' = 1666.66 \mu\text{g/s}$$

Calcul du nombre de véhicules par mètre : (soit N')

Pendant 12 heures, 21840 véhicules émettant le plomb traversent la route avec une vitesse moyenne de 50km/h c'est-à-dire 50000m/h ; donc :

$$N' = \frac{21840}{12 * 50000} = 0.0364 \frac{\text{véhicule}}{\text{mètre}}$$

⇒ Environ 4 véhicules tout les 100m

Donc le débit d'émission du plomb par unité de temps et de longueur Q est calculé comme suit :

$$Q = 0,0364 * Q' = 0,0364 * 1666,66 = 60,66 \mu\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

Le tableau 3, 4 et 5 représentent les valeurs de σ_z pour différentes classes de stabilité atmosphérique sont A ; B et C (l'étude a été faite de 8h jusqu'à 20h) ainsi que les valeurs de concentrations du plomb pour différentes vitesse du vent et pour différentes la distances à l'axe routier :

Tab 6 : Dimension verticale du panache du fumé et la concentration du plomb C pour une distance x=500mètres

| Stabilité | U (m/s) | σ_z (m) | C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-----------|---------|----------------|--------------------------------|
| A | 2 | 99,10 | 0,24 |
| B | 3 | 54,54 | 0,29 |
| C | 4 | 31,92 | 0,37 |

Tab 7 : Dimension verticale du panache du fumée et la concentration du plomb C pour une distance x=1000mètres.

| stabilité | U (m/s) | σ_z (m) | C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-----------|---------|----------------|--------------------------------|
| A | 2 | 282,25 | 0,08 |
| B | 3 | 108,03 | 0,14 |
| C | 4 | 60,02 | 0,20 |

Tab 8 : Dimension verticale du panache du fumée et la concentration du plomb C pour une distance $x=1500$ mètres.

| Stabilité | U (m/s) | σ_z (m) | C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-----------|---------|----------------|--------------------------------|
| A | 2 | 520,64 | 0,04 |
| B | 3 | 161,12 | 0,10 |
| C | 4 | 86,84 | 0,13 |

Nous illustrons sur les graphes (figures 9, 10 et 11) la variation de la concentration du plomb selon la distance à l'axe routier pour les différentes vitesses du vent :

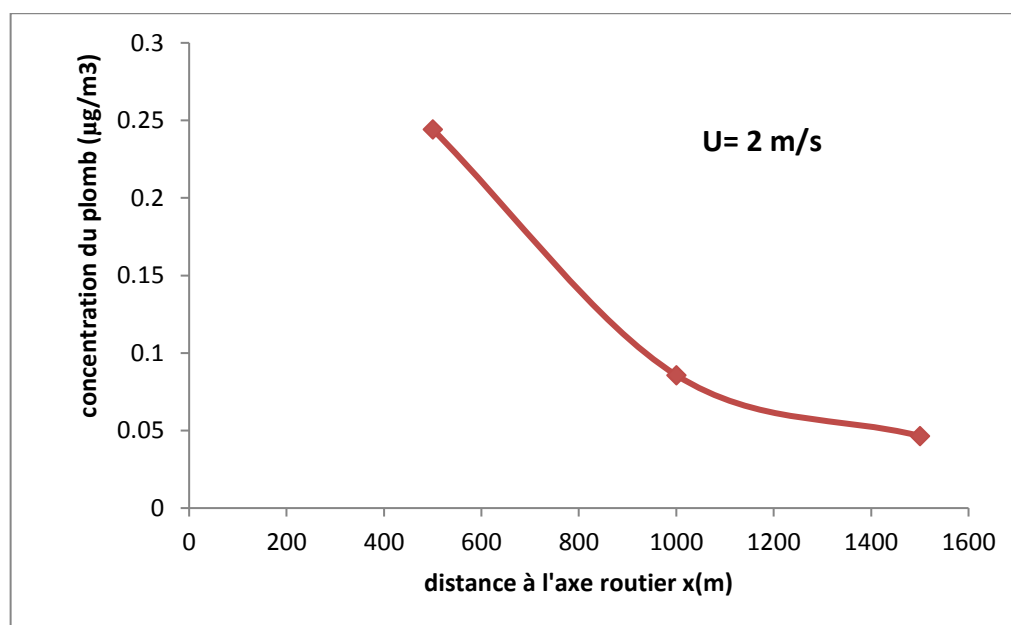


Fig. 9 : Variation de la concentration du plomb en fonction de la distance à l'axe routier pour une vitesse de vent $U= 2\text{m/s}$

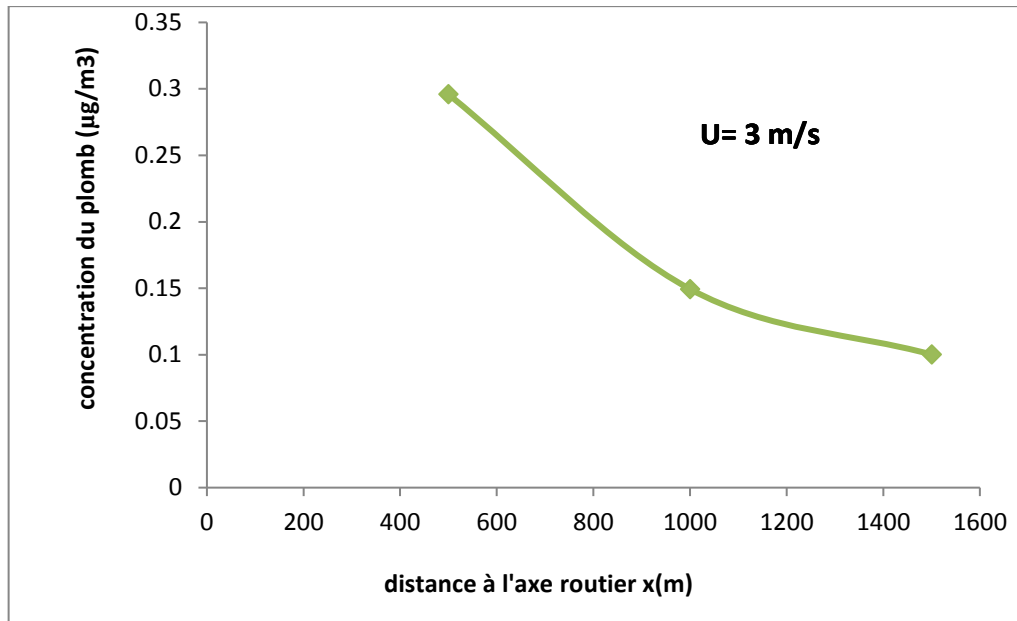


Fig. 10 : Variation de la concentration du plomb en fonction de la distance à l'axe routier pour une vitesse de vent $U= 3\text{m/s}$

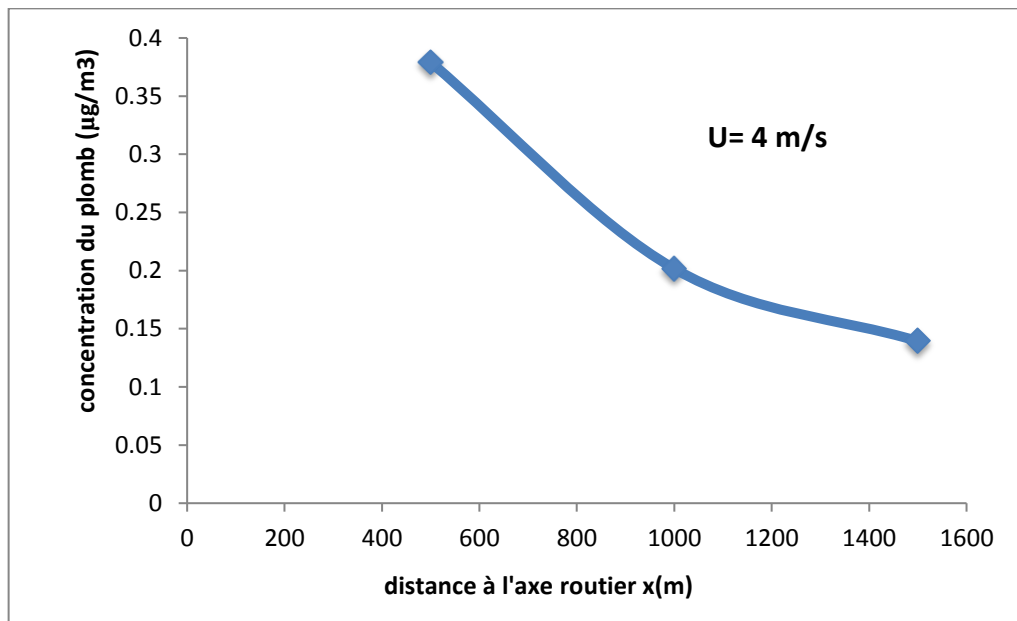


Fig. 11 : Variation de la concentration du plomb en fonction de la distance à l'axe routier pour une vitesse de vent $U= 4\text{m/s}$

Chapitre III : Résultats et discussion

La figure 12 montre la comparaison entre la variation de la concentration du plomb atmosphérique en fonction de la distance à l'axe routier pour différentes vitesses du vent :

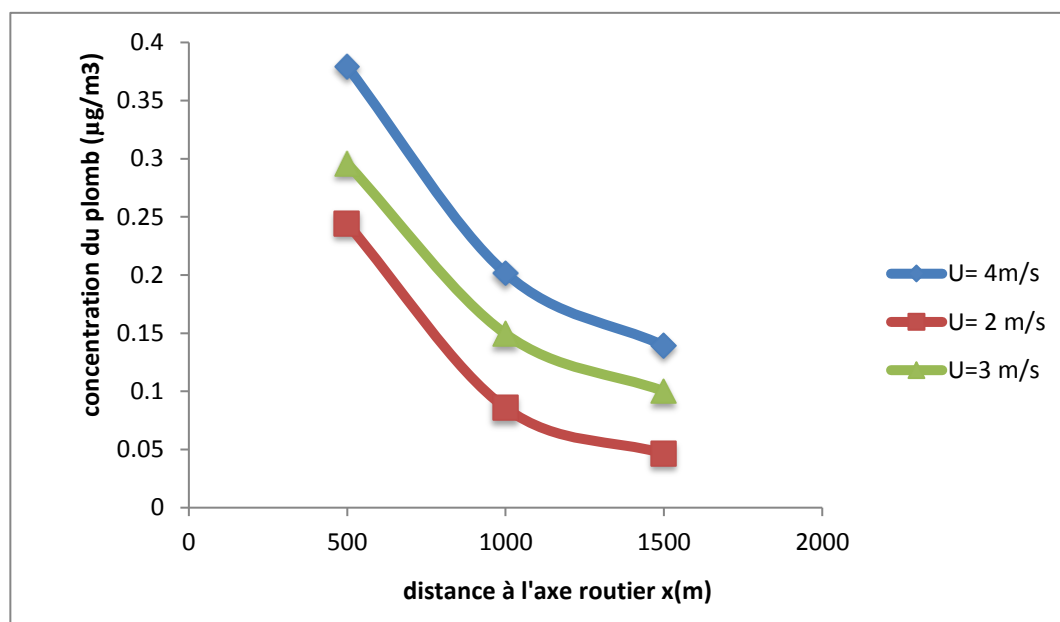


Fig.12 : Comparaison de l'évolution des teneurs atmosphérique en plomb pour différentess vitesses de vent.

On remarque que la concentration du plomb diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'axe routier. Selon la vitesse du vent la diminution est de 3 à 6 fois en passant de 500 m à 1500 m.

Les résultats montrent que les résidents des zones éloignées de plus de 1500m de la RN n°11 ne sont pas exposés à de fortes concentrations en plomb (moins de $0.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

En comparant les résultats donnés par le modèle avec les teneurs mesurées sur le terrain à Alger lors d'études précédentes (Kerbachi , 2017), on constate qu'il y'a une bonne concordance entre les teneurs réelles et les prévisions du modèle.

Conclusion

Le parc automobile en Algérie est à l'origine d'une forte pollution par le plomb due à l'utilisation encore très répandue de l'essence plombée.

Le modèle de Gauss a été utilisé pour évaluer l'ampleur de la pollution de l'air par le plomb à proximité de la RN 11 et à différentes distances de celle-ci et ce en considérant différentes vitesses de vent. Les résultats obtenus montrent que le plomb atteint des teneurs qui dépassent les normes de l'Union Européenne mais restent légèrement en dessous de la directive de l'OMS. Ces dernières restent dans l'intervalle des mesures effectuées au niveau de la wilaya d'Alger qui donnent des valeurs de 0.2 à 0.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

L'application du modèle montre en outre que les teneurs diminuent rapidement lorsqu'on s'éloigne de l'axe routier.

Les résidents de Belouizded sont ainsi exposés depuis des années à des teneurs non négligeables en plomb.

Il est donc urgent de prendre les mesures nécessaires pour réduire cette forme de pollution. Comme il n'est pas possible de convertir tout les véhicules au GPL, l'unique solution demeure l'interdiction de l'essence plombée. L'expérience internationale a montré que dans les pays où l'essence sans plomb a été généralisée, le problème de la pollution par le plomb ne se pose plus.

Bibliographie

ACADEMIE DES SCIENCES, 1993. Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère : essai d'évaluation scientifique. Rapport n°30. Paris : Tec & Doc Lavoisier. 398 p.

ACADEMIE DES SCIENCES, 1996. Pollution atmosphérique due au transport : les effets sur la santé et l'évolution technologique. Paris : Ellipses. 398 p.

Anis Khlaifi, 2007. Thèse de doctorat : Estimation des sources de pollution atmosphérique par modélisation inversée , Sous la direction de Yves Candau et de Anda Ionescu, Paris 12.

AEE (Agence Européenne pour l'Environnement), 1999. Environment in the European Union at the turn of the century. Copenhague : Communauté européenne. 446 p.

APESA (Association Pôle Environnement Sud Aquitain) et SUBELZU David, 2001. La pollution atmosphérique générée par les transports. In : L'air que nous respirons, l'air qui nous protège : les défis du XXIème siècle : Pau, 6-9 mars 2001, Les entretiens de l'Environnement. éd.par Benoît DE GUILLEBON. Pau: APESA. 37-53p.

Arquès P, 1998. La Pollution de l'air [Ouvrage].

Atkins Peter et JONES Loretta, 1998. Chimie. Molécules, matière, métamorphoses. Paris : De Boeck Université. 1018 p.

Butler J. D, « Air pollution chemistry », Academic Press, London, 1979.

Chevrier Michèle et Valette Pascale, 1998. Contribution des émissions du trafic automobile à la teneur en particules dans l'air urbain. In : Pollution de l'air à l'échelle urbaine et locale. Premier bilan des actions de recherche. éd. par l'ADEME. 81-88 p.

CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique), 2001. La pollution atmosphérique en bref. Sources de pollution. [en ligne]. CITEPA. Disponible sur : <<http://www.citepa.org/pollution/sources.htm>>

CSHPF (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France), 1996. L'ozone, indicateur majeur de la pollution photochimique en France : évaluation et gestion du risque sur la santé. Paris : Technique & Documentation. 164 p.

Dambrine Etienne, Augusto Laurent, Bonneau Maurice [et al.], 2001. Acidification dans le massif vosgien : comprendre les mécanismes pour apporter des solutions. [en ligne]. Institut National de la Recherche Agronomique (Nancy), Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Office National des Forêts. Disponible sur : <<http://www.nancy.inra.fr/acidification/index.html>>

Degobert Paul, 1995. Automobile et pollution. Paris : Editions Technip. 516 p.

Durrieu Fabrice, 1999. Etude des conditions météorologiques dans la vallée d'Aspe. Maîtrise des Sciences et Techniques "Mesure et traitement des Pollutions et Nuisances : Option Air et Combustion" : Université de Pau et des Pays de l'Adour : Météo-France, Pau. 40 p.

Encyclopaedia Universalis, 1997. Encyclopaedia Universalis. [Cédérom].

Escourrou Gisèle, 1996. Transports, contraintes climatiques et pollutions. Paris.

Estienne Pierre et Godard Alain, 1993. Climatologie. Paris : Armand Colin. 367 p.

Georgiades Y, 1987. Voiture économique ou voiture écologique : Les rationalités de l'arbitrage. Thèse de doctorat en économie des transports. Thèse de doctorat en Sciences économiques. Bron (France) Inrets. 339 p.

Granier Laurent et Chevreuil Marc, 1991. Automobile trafic : a source of PCBs to the atmosphere. Chemosphere, vol. 23 (6), p. 785-788.

Hadfield L. et Seaton R.A.F, 1999. A co-evolutionary model of change in environmental management. [Revue] 1999. p577-592.

Hautala E.L., Rekilä R., Tarhanen J. [et al], 1995. Deposition of motor vehicle emissions and winter maintenance along roadside assessed by snow analyses. Environmental Pollution, vol. 87, p. 45-49.

Hugrel C, 2004. Transport routier : Parc, usage et émissions des véhicules en France de 1970 à 2025. Bron (France). 90 p.

Hugrel C. & Joumard R, 2006. Normes et facteurs agrégés d'émissions des véhicules routiers en France, de 1970 à 2025. 115 p.

Kerbachi.R, 2016. Cours master, Ecole Nationale Polytechnique.

Kerchich.Y, 1996. Magister contribution à l'étude du plomb organique et minéral issu du trafic routier, Ecole Nationale Polytechnique.

Kühler M., Kraft J, Bess H, Heeren U Et Schürmann D, 1994. Comparison between measured and calculated concentrations of nitrogen oxides and ozone in the vicinity of a motorway. The Science of the Total Environment, vol. 146-147, 387-394 p.

Legret M. et Pagotto Christelle, 2001. Les sources de polluants en milieu routier. In : Journées techniques "Routes et pollution des eaux et des sols" (Projets POLMIT et ALT- MAT) : Nantes, 27-28 mars 2001. [S. l.] : Labo. Central des Ponts et Chaussées. 45 p.

Malbreil Nathalie, 1997. La pollution en bordure d'autoroute et son impact sur la végétation. DESS : Ressources Naturelles et Environnement, Université de Metz, CETE de l'Est. 56 p.

Noppe Jane, 1998. Emissions de polluants et consommation liées à la circulation routière : paramètres déterminants et méthode de quantification. Paris : ADEME Editions. 112 p.

OCDE (Organisation de Coopération pour le Développement Economique), 1995. La pollution des véhicules à moteur : stratégies de réduction au-delà de 2010. Paris : Les Editions de l'OCDE. 148 p.

OECD Environmental outlook to 2030 [Rapport]. - [s.l.] : OECD, 2008.

ORS, décembre 2007. Les composés organiques volatils (COV) [Rapport]. - Ile-de-France : Observatoire régional de santé d'Ile-de-France.

ONS (Office National des Statistiques), 2015. Rapport annuel sur le parc automobile algérien.

Pagotto Christelle, 1999. Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier. Thèse : Chimie et microbiologie de l'eau : Sciences et technique : Université de Poitiers. 252 p.

Parmentier Cécile et Garrec Jean-Pierre, 1994. Impact de la pollution atmosphérique le long des routes et autoroutes sur la végétation environnante : utilisation de la bio-indication végétale : synthèse bibliographique. éd. par INRA - Centre de Recherches Forestières de Nancy : Laboratoire d'Etude de la Pollution Atmosphérique. Nancy : INRA. 84 p.

Pedelaborde Pierre, 1970. Introduction à l'étude scientifique du climat. Paris: SEDES. 246 p.

Pénelon. T, 2013. La modélisation des pollutions accidentelles, les modèles de dispersion atmosphérique, INERIS.

Pleijel H., Ahlfors A., Skärby L. [et al], 1994. Effects of air pollutant emissions from a rural motorway on Petunia and Trifolium. The Science of the Total Environment, vol. 146- 147, 117-123 p.

Roul David, 1998. Etude des conditions météorologiques de Biriadou : analyse des paramètres météorologiques influençant les concentrations en polluants autour du site. Maîtrise : Sciences et Techniques : "Mesure et traitement des Pollutions et Nuisances" : Université de Pau et des Pays de l'Adour, Météo-France Pau-Uzein, Pau. 19 p.

SANEF (Société des Autoroutes du Nord-Est de la France) et ARGOPOL, 1994. Impact d'une liaison autoroutière sur la qualité de l'air : étude de faisabilité, SANEF. 78 p. [Rapport interne]

SANEF (Société des Autoroutes du Nord-Est de la France) et ARGOPOL, 1995. Campagne de mesures qualité de l'air : arrière de Chamant. SYNTHÉ2.DOC, SANEF. 135 p. [Rapport interne]

SETRA (Service d'Etude Techniques des Routes et Autoroutes) et MAZOUÉ, S., 1994. Impact du trafic routier sur l'environnement : la contamination du sol par voie aérienne. Rapport SETRA - CSTR n°B 9411, DESS Pollution chimiques et environnement. 67 p.

Société Française De Santé Publique (SFSP), 1996. La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique - Bilan de 15 ans de recherche internationale. Vandoeuvre-lès-Nancy : Société française de santé publique. 251 p.

Schütz Michaël, 1995. Environnement et pollution: Comment mesurer? Comment réagir? Nieppe: ublitronic. 253 p.

URF (Union Routière Française), 2001a. Ventes annuelles de carburants routiers sur le marché intérieur français. [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.urf.asso.fr/Fiches-II/Fiche-II-30/II-30.htm>> [consultation : 07/2001]

<http://www.maghrebemergent.com/actualite/maghrebine/63435-algerie-le-parc-automobile-compte-plus-de-5-6-millions-de-vehicules-a-fin-2015-ons.html> [En ligne].

<http://www.larousse.fr/archives/grande-encyclopedie/page/14337> [En ligne].