

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université IBN KHALDOUN, Tiaret

Faculté de Science de la Nature et de la Vie



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention de diplôme de Magister en

« Biodiversité végétale méditerranéenne de l'Algérie occidentale »

Option : inventaire, valorisation et écologie de la restauration.

Thème

Estimation des émissions aux NOx d'origine routière par spectroscopie

IR. au moyen d'un lichen (Xanthoria parietina)

dans la ville de tiaret, algerie. cartographie et conséquences sanitaires.

Présenté par :

SOUDANI Leila

Soutenu le : 2013 , devant le jury composé de :

| | | | |
|-------------|----------------------|------------|---------------------------|
| Président : | M. DELLAL Abdelkader | Professeur | Université IBN KHALDOUNE |
| Encadreur : | M. MAATOUG M'hamed | Professeur | Université IBN KHALDOUNE |
| Examineur : | M. AYAD Nadira | Professeur | Université DJILALI LYABES |
| Examineur : | M. BOUNACEUR Farid | MC "A" | Université IBN KHALDOUNE |

Année universitaire : 2012 – 2013

REMERCIEMENT

En présentant les résultats de ce travail je ne peux m'empêcher d'évoquer le souvenir de tous ceux qui m'ont apporté l'aide de leur travail et de leur compétence et je m'en voudrais de ne pas leur adresser ici mes sincères remerciements et je tiens à les associer pleinement à ma réussite.

Je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements à Monsieur MAATOUQ MAHAMED Professeur à l'Université Ibn Khaldoun Tiarret, pour avoir accepté d'être mon promoteur, pour ses aides et ses orientations avec sa gentillesse et disponibilité, pour son sens de responsabilité et sa vivacité d'esprit.

Je ne saurais remercier assez Monsieur AIT HANMOU ET Monsieur BAQHADAD RACHID, je suis particulièrement reconnaissante pour ses conseils constructifs, leurs sens aigu de ses démarche scientifique et leurs disponibilité. Qu'ils trouvent ici tous mes remerciements.

Je suis touché de l'honneur que m'a fait Monsieur DELLAL ABDELKADER En acceptant de diriger le jury chargé d'examiner ce travail.

Je remercie également Madame AUAD NADIRA et Monsieur BOUNAGOUR FARIDE d'avoir accepté de faire partie de ce jury

J'adresse mes vifs remerciements à tous mes amis.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à : Celle qui a consacré sa
vie et souffert pour veiller à mon bien être, à la source
de ma réussite, à ma chère mère, j'espère qu'elle est
fière de moi.*

Résumé

L'objectif de ce travail est d'estimer les teneurs aux NO_x d'origine routière, et d'accéder à une cartographie de concentrations de ce polluant dans la ville de Tiaret. Les NO_x ont été déterminés par spectroscopie infrarouge sur 33 lichens de *Xanthoria parietina*, transplantés dans différentes saisons et différents sites à trafic routier important,

. Les fortes teneurs des oxydes d'azote sont enregistrées dans la saison Hivernale et Automnale avec des valeurs maximale de 35,00% et 34,70% respectivement. La saison Printanière présente aussi des teneurs importantes de NO_x avec un maximum de 33,40%. L'été occupe la quatrième position avec des teneurs faible avec une valeur maximale de 10%.

La cartographie effectuée a pour objectif de répondre au besoin de connaissance spatiale du problème de pollution atmosphérique, et son impact sur la santé publique en milieu urbain.

Mots clés : trafic routier, oxydes d'azote, *Xanthoria parietina*, cartographie, Tiaret.

Summary

The objective of this work is to estimate the levels of NO_x road origin and to access a mapping of concentrations of this pollutant in the city of Tiaret. NO_x were determined by infrared spectroscopy of 33 lichen *Xanthoria parietina* transplanted in different seasons and different sites to heavy traffic, . The high levels of nitrogen oxides are stored in the Winter and Autumnal season with maximum values of 35.00% and 34.70% respectively. Printanière season also has significant levels of NO_x with a maximum of 33.40%. Summer occupies the fourth position with low levels with a maximum value of 10%.

Mapping performed aims to meet the need of knowledge of the problem space of air pollution and its impact on public health in urban areas for.

Keywords: traffic, nitrogen oxides, *Xanthoria parietina*, mapping, Tiaret.

Liste des abréviations

| | |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| µg : | Microgramme |
| µg/Nm³: | Micro gramme par mètre cube normal |
| ADEME : | Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie |
| AE : | Administration des écoles |
| AIRPARIF : | Association de surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France, |
| APC: | Assemblée populaire et communal |
| BTEX : | Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes |
| C.E.T.E: | Centre d'études techniques |
| C.F.B.P : | Comité française du Butane et Propane |
| C₃H₈: | Propane |
| C₄H₁₀: | Butane |
| Cd: | Cadmium |
| CFC : | Chloro-fluoro-carbones |
| CITEPA : | Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique |
| CO: | Monoxyde de carbone |
| CO₂: | Dioxyde de carbone |
| COV : | Composés organiques volatils |
| Cr: | Chrome |
| Cu: | Cuivre |
| CW: | Chemin de Wilaya |
| DPAT: | Direction de la planification et de l'aménagement du territoire |
| DTP: | Direction des travaux publics |

| | |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| fig : | Figure |
| g/cm³ : | Gramme par centimètre cube |
| g/m²/s : | Gramme par mètre carré par seconde |
| H₂SO₄: | Acide sulfurique |
| Ha: | Hectare |
| HAP : | Hydrocarbures aromatiques polycycliques |
| HNO₂ : | Acide nitreux |
| HNO₃: | Acide nitrique |
| I.N.S.P: | Institut national de la santé publique |
| JORADP: | Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire |
| KBr : | Bromure de potassium |
| kg/ha/an : | Kilogramme par hectare par an |
| Km/h: | Kilomètre par seconde |
| Km: | Kilomètre |
| m/s: | Mètre par seconde |
| Mg : | Milligramme |
| mg/L : | Milligramme par litre |
| Mt/an : | Millions de tonnes par an |
| N₂: | Diazote |
| N₂O : | Protoxyde d'azote |
| N₂O₃ : | Trioxyde d'azote |
| N₂O₄ : | Tétraoxyde d'azote |
| Ng : | Nano gramme |
| Ni: | Nickel |
| NO: | Monoxyde d'azote |
| NO₂: | Dioxyde d'azote |
| NO_x: | Oxydes d'azote |
| O₃: | Ozone |

| | |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| OMS : | Organisation mondiale de la santé |
| P.P.A: | Plan de protection de l'atmosphère |
| P.R.Q.A: | Plan régional de la qualité de l'air |
| P: | Pénétrante |
| PAN : | Peroxyacetylnitrate |
| Pb: | Plomb |
| PCB : | Polychlorobiphényle |
| Ppb : | Partie par milliard |
| Ppbv : | Partie par milliard (billion en anglais) en volume |
| Ppm : | Partie par million |
| Ppmv : | Partie par million en volume |
| Ppt : | Partie par trillion |
| Pptv : | Partie par trillion en volume |
| RN: | Route nationale |
| RP ; | Rond point |
| S.E.T.R.A : | Service d'études techniques des routes et autoroutes |
| S.F.S.P : | Société française de la santé publique |
| SO2: | Dioxyde d'azote |
| URBATIAT : | Urbanisme de Tiaret |
| V/J : | Véhicules par jour |
| Zn: | Zinc |

LISTE DES FIGURES

Fig.1 : Principales sources de polluants en milieux routier et urbain.

Fig.2 : Principes généraux de stockage et d'élimination des oxydes d'azote.

Fig.3 : Présentation schématique des taxons bio-accumulateurs et des paramètres régissant les phénomènes d'accumulation.

Fig.4 : Image de *Xanthoria parietina*.

Fig.5 : Localisation de la zone d'étude.

Fig.6 : Réseau routier de la ville de Tiaret.

Fig.7 : Répartition du parc automobile de la wilaya de Tiaret selon les classes d'âges.

Fig.8 : Répartition du parc automobile de la commune de Tiaret selon le type de carburant.

Fig.9 : Les températures moyennes mensuelles de la région de Tiaret pour l'année 2012

Fig.10 : Les précipitations moyennes mensuelles de la région de Tiaret de l'année 2012

Fig.11 : Situation de la zone d'étude dans le climagramme d'Emberger. Durant l'année 2012.

Fig.12 : Les vitesses moyennes mensuelles des vents de la région de Tiaret durant l'année 2012

Fig.13: Localisation des sites de transplantation dans la ville de Tiaret

Fig.14 : Image d'un lichen transplanté sur un tronc d'arbre

Fig.15 : Principe de fonctionnement d'un spectromètre infrarouge.

Fig.16: Spectres des échantillons de la station S0 (témoin) et de la station S2 obtenus par l'infrarouge

Fig.17 : Spectres superposés des échantillons de la station S0 (témoin) et de la station S2 obtenus par l'infrarouge

Fig.18 : classification automatique de la saison Hivernal

Fig.19 : Carte de pollution aux NOx d'origine routier pour l'hiver de la ville de Tiaret année 2012

Fig.20 : Classification automatique des teneurs en NOx pour la saison Printanière

Fig.21 : Carte de pollution aux NOx d'origine routière pour le printemps de la ville de Tiaret année 2012

Fig.22: classification automatique de la saison estivale

Fig.23 : Carte de pollution aux NOx d'origine routière pour l'été de la ville de Tiaret année 2012

Fig.24 : classification automatique de la saison Automnale

Fig.25 : Carte de pollution aux NOx d'origine routière pour l'automne de la ville de Tiaret année 2012

Fig.26 : Teneurs en NOx (%) en fonction des de saisons

Fig.27: Teneurs en Nox (%) en fonction des stations de prélèvement

LISTE DES TABLEAUX

Tableau-1- Les principaux polluants atmosphériques.

Tableau-2- L'indice ATMO en France.

Tableau-3- Les normes de pollution en Algérie.

Tableau-4- Caractéristiques physico-chimiques des NO_x.

Tableau-5- Classification taxonomique de *Xanthoria parietina*.

Tableau-6- Capacité de saturation des routes nationales et des chemins de wilaya accédant à Tiaret ville.

Tableau-7- Stations-services de la ville de Tiaret et leurs capacités de stockage.

Tableau-8- Evolution de la population communale de Tiaret de 1966 à 2015.

Tableau 9: Régimes saisonniers de la région de Tiaret durant l'année 2012.

Tableau.10 : Statistique descriptive des différentes classes de pollution en hiver par les NO_x

Tableau. 11: Statistique descriptive des différentes classes de pollution au NO_x pour le Printemps

Tableau.12: Statistique descriptive des différentes classes de pollution en été par les NO_x

Tableau.13 : Statistique descriptive des différentes classes de pollution au NO_x pour l'automne

Tableau.14 : Analyse de variance pour l'effet de la saison sur l'accumulation des oxydes d'azote.

Table de matières

Remerciement

Dédicaces

Liste de figures

Liste de tableaux

Introduction

***P**remière partie :*

Etude bibliographique

Chapitre 1 : Pollution atmosphérique

I. Généralité sur la pollution atmosphérique

| | |
|----------------------------------------------------------|----|
| 1. Définition de la pollution atmosphérique..... | 4 |
| 2. Les sources de la pollution atmosphérique..... | 5 |
| 3. Les différentes échelles de pollution..... | 5 |
| 3.1 L'échelle locale..... | 5 |
| 3.2 L'échelle régionale | 6 |
| 3.3 L'échelle globale | 6 |
| 4. Inventaire des polluants atmosphériques..... | 6 |
| 5. les impacts de la pollution atmosphérique | 8 |
| 5.1 L'impact sur la santé | 8 |
| 5.2 L'impact sur le patrimoine bâti..... | 8 |
| 5.3 L'impact sur les végétaux..... | 8 |
| 5.4 L'impact sur les milieux aquatiques et les sols..... | 9 |
| 5.5 L'impact sur la faune..... | 9 |
| 5.6 L'impact sur l'échelle planétaire | 9 |
| 5.6.1 L'effet de serre..... | 9 |
| 5.6.2 Changements climatiques..... | 10 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6. L'indice ATMO | 10 |
| 7. Réglementation algérienne et les normes de la pollution atmosphérique | 11 |

II : pollution atmosphérique d'origine automobile

| | |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 1. Types de pollution en milieu urbain | 13 |
| 1.1 La pollution chronique | 13 |
| 1.2 La pollution accidentelle | 13 |
| 1.3 La pollution saisonnière | 13 |
| 1.4 La pollution temporaire | 14 |
| 2. Echantillons de carburants..... | 14 |
| 2.1 L'essence | 15 |
| 2.2 Le diesel..... | 15 |
| 2.3 Gaz Naturel Véhicules (GNV)..... | 15 |
| 2.4 Gaz de pétrole liquéfiés (GPL) | 15 |
| 3. Pollution automobile et les facteurs influençant..... | 16 |
| 3.1 Les facteurs liés aux véhicules..... | 16 |
| 3.2 Les facteurs liés aux conditions de circulation | 16 |
| 3.3 Les facteurs liés à la route | 16 |
| 3.4 Les facteurs climatiques | 17 |
| 3.5 Les facteurs liés au conducteur..... | 17 |
| 4. Les unités de mesures de polluants..... | 17 |
| 5. Le dépôt de polluant..... | 18 |
| 6. La masse de polluant émise dans l'atmosphère..... | 18 |
| 7. Les cycles de la pollution | 18 |
| 7.1 Le cycle annuel | 18 |
| 7.2 Le cycle hebdomadaire..... | 19 |
| 7.3 Le cycle journalier..... | 19 |

III : pollution par les NOx d'origine routière

| | |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 1. Les oxydes d'azote (NOx)..... | 20 |
| 1.1 L'origine des oxydes d'azote..... | 21 |
| 2. Transformations chimiques des oxydes d'azote..... | 21 |
| 2.1 Formation des NOx dans le moteur..... | 21 |
| 2.2 Transformations des NOx dans l'air..... | 21 |
| 3. Variations des émissions NOxjour/nuit..... | 23 |
| 3.1 La chimie diurne des NOx..... | 24 |
| 3.2 La chimie nocturne des NOx..... | 24 |
| 4. Le transport des NOx..... | 24 |
| 5. Les principaux modes de déposition des oxydes d'azote..... | 24 |
| 5.1 Les dépôts humides..... | 25 |
| 5.2 Les dépôts secs..... | 25 |
| 5.3 Les dépôts occultes..... | 25 |
| 6. L'impact des NOx..... | 25 |
| 6.1 Effets sur l'environnement..... | 25 |
| 6.2 Effets sur la santé..... | 26 |
| 6.3 Valeurs limites de l'OMS..... | 27 |

Chapitre 2 : Généralité sur la bio surveillance végétale

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Définition et concepts de biosurveillance..... | 28 |
| 2. Organismes et méthodologies utilisés pour la bioaccumulation..... | 29 |
| 2.1 Les lichens..... | 29 |
| 2.2 Les mousses..... | 30 |
| 2.3 Végétaux supérieurs..... | 30 |
| 3. Lichens et pollution..... | 31 |
| 3.1 Cartographie lichénique..... | 32 |

| | |
|-------------------------------------------------|----|
| 3.2 Fiche technique de Xanthoria parietina..... | 32 |
|-------------------------------------------------|----|

Deuxième partie :

Partie expérimentale

Chapitre 1 : Matériel et méthodes

| | |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| I. Caractéristiques générales de la zone d'étude..... | Erreur ! Signet non défini. |
| 1. Présentation de la zone d'étude | 40 |
| 1.1 Localisation de la zone d'étude | 40 |
| 1.2 Organisation structurale de la ville de Tiaret..... | 41 |
| 2. Infrastructure de base | 41 |
| 2.1 Le réseau routier | 41 |
| 2.2 Etat du réseau..... | 41 |
| 2.3 Stockage et distribution de carburants | 43 |
| 3. Le parc automobile de la wilaya de Tiaret | 44 |
| 4. Répartition de la population | 46 |
| 5. Aperçu climatique | Erreur ! Signet non défini. |
| II. Mise en place du matériel expérimental..... | 51 |
| 1. Transplantation lichénique | 51 |
| 1.1 Le choix des sites de transplantation..... | 51 |
| 1.2 Technique de transplantation..... | 52 |
| 2. Site de prélèvement (référence) | Erreur ! Signet non défini. |
| 3. des oxydes d'azote | 53 |
| 3.1 Préparation des pastilles | 53 |
| 3.2 Dosage des oxydes d'azotes par spectromètre infrarouge..... | Erreur ! Signet non défini. |
| 3.2.1 Principe..... | 54 |

Chapitre II : Résultats et discussions

| | |
|-----------------|----|
| Conclusion..... | 40 |
|-----------------|----|

Introduction

La pollution atmosphérique issue du trafic routier est un problème spécifiquement urbain, qui touche la santé publique. Les diverses substances émises par les véhicules en circulation sur le réseau routier peuvent avoir des conséquences néfastes pour les écosystèmes situés à proximité des routes. Le secteur des transports constitue un des piliers fondamentaux des sociétés modernes. La voiture particulière fait partie intégrante du mode de vie de la très grande majorité des citoyens. Le transport routier de marchandises est le nerf de notre économie. Les enjeux liés aux déplacements sont donc de plus en plus nombreux : santé publique, environnement, cadre de vie, développement et compétitivité économique. Or, l'environnement est devenu un thème politique majeur : la conscience écologique s'installe dans les débats publics à toutes les échelles (Levy, 1999).

La zone urbaine de Tiaret et sa périphérie sont reliées aux routes nationales par des voies secondaires (permanentes) et des chemins de wilaya. Ce dense réseau routier favorise une augmentation de l'activité et plus particulièrement celle de la circulation automobile. Elle demeure la principale source de la pollution atmosphérique liée aux émanations des gaz d'échappement qui contiennent un véritable cocktail de polluants. Tsagué (2009), a rapporté que les oxydes l'un de ces polluants dont le mécanisme de formation dépend fortement de la température de combustion.

Toute combustion à l'air émet des NO_x, ces derniers proviennent des réactions entre l'azote de l'air ou du combustible et l'oxygène de l'air. Les deux grandes sources de NO_x sont la combustion des véhicules automobile (59%) et les sources fixes que sont les installations de combustion (Truscott et al, 2005).

Pour pallier à ce problème nous avons utilisé des capteurs biologiques de nature végétale représentés par des transplants lichéniques de *Xanthoria parietina*. En effet, la flore lichénique recèle des propriétés bioindicatrices évidentes, pour être utilisée comme moyen substitutif et complémentaire aux capteurs physiques (Van Haluwyn et al 1993).

Les lichens sont des organismes particulièrement bien adaptés pour l'étude des polluants atmosphériques gazeux et particuliers. Ils doivent cette efficacité à leur particularité anatomique et leurs caractéristiques physiologiques. Ils seront de ce fait soumis aux retombés des polluants présents à la fois dans les dépôts secs et les dépôts humides (Garrec et al, 2002).

L'étude a porté sur l'estimation des NO_x accumulés par *Xanthoria parietina* (espèce lichénique) à l'aide de la spectroscopie infrarouge sur les sites choisis au voisinage des voies de circulation dans la ville de Tiaret afin de réaliser une carte de pollution pour mieux étudier les impacts de cette dernière sur la santé humaine et l'environnement.

Ce mémoire s'articule en deux parties. La première partie est une synthèse bibliographique, rassemblant des données concernant : la pollution atmosphérique, la bio surveillance végétale. La démarche expérimentale représentée les principaux matériels et méthodes utilisés, dans le quatrième chapitre, sont exposés et discutés l'ensemble des résultats expérimentaux. En dernier, nous avons établi une conclusion générale du travail.

*P*artie

*B*ibliographique

Chapitre I

Pollution atmosphérique

Généralité sur la pollution atmosphérique

L'atmosphère terrestre est un mélange formé de différents gaz et de particules diverses. Ce mélange forme une enveloppe gazeuse autour de la terre qui contient l'air que nous respirons. C'est grâce à l'atmosphère que l'apparition et le maintien de la vie sont possibles sur terre.

L'air est principalement constitué de diazote N_2 (78%) et de dioxygène O_2 (21%), cependant 1% de l'air est constitué d'autres gaz : les gaz rares, la vapeur d'eau, et l'ozone qui, nous protège des rayons UV du soleil. (Thibault, 2003).

1. Définition de la pollution atmosphérique

La pollution de l'air peut se définir comme tout changement de la composition chimique de l'atmosphère, susceptible d'entraîner une gêne ou un effet nocif pour l'homme et l'environnement. Elle est l'introduction par l'homme directement ou indirectement dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques (Tsagué, 2009).

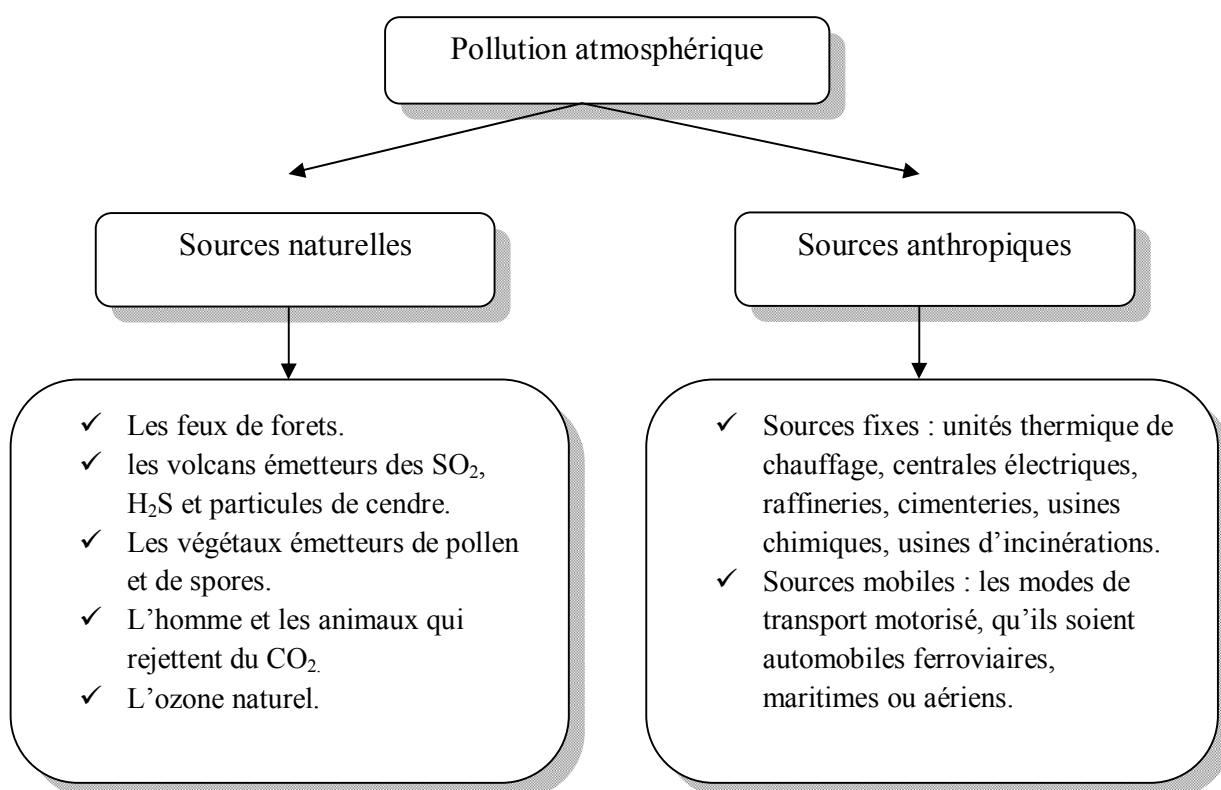
Selon la Loi N° 03.10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, la pollution atmosphérique est définie comme : l'introduction, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances de nature à

- Mettre en danger la santé humaine ;
- Influencer sur les changements climatiques ou appauvrir la couche d'ozone ;
- Nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes ;
- Compromettre la sécurité publique ;
- Incommoder la population ;
- Provoquer des nuisances olfactives ;
- Nuire à la production agricole et aux produits agro-alimentaires ;
- Altérer les constructions et porter atteinte au caractère des sites ;
- Détériorer les biens matériels (J.O.R.A.D.P N°43, 2003).

2. Les sources de la pollution atmosphérique

L'atmosphère renferme, à côté des éléments de base, une quantité variable de substances naturelles provenant de sources très diverses qui, dépassant un seuil, crée une source de pollution (Mouaïci, 2002).

L'homme est aussi responsable de ce phénomène, ces sources de pollution peuvent être classées en deux catégories liées aux deux principaux types d'activités humaines polluantes en milieu urbain (Thibault, 2003).



3. Les différentes échelles de pollution

3.1. L'échelle locale :(rue, quartier, ville donc de 10 m à 10 km)

Il s'agit des pollutions rencontrées au voisinage direct des sources d'émissions comme les foyers industriels, la combustion, les axes de circulation, le chauffage domestique, l'incinération de déchets, les incendies....etc. ces sources engendrent des pollutions de proximité et de nuisance olfactif à des distances inférieure à quelques Km ; elles participent à une pollution urbaine de fond (Tsagué, 2009).

3.2. L'échelle régionale : (environ 100 km)

La pollution régionale touche des zones distantes de quelques kilomètres (autour des grandes agglomérations) à un millier de kilomètres des sources d'émission de polluants. Les polluants réagissent chimiquement entre eux ou avec des particules présentes dans l'air en fonction de leurs concentrations qui dépendent des conditions météorologiques. Cette pollution prend principalement trois formes : l'acidification, la pollution photochimique et l'eutrophisation (Tsagué, 2009).

3.3. L'échelle globale : (environ 1000 km)

À l'échelle globale (planétaire), la pollution se manifeste par deux phénomènes : la diminution de la couche d'ozone stratosphérique et la création d'une couche d'ozone supplémentaire au niveau de la troposphère, qui contribue à l'augmentation de l'effet de serre. Certains polluants ont des durées de vie si grandes qu'ils s'accumulent dans des couches hautes de l'atmosphère et bouleversent le climat. Toutes les sources de pollution participent à la pollution atmosphérique. Lors de la combustion l'énergie est produite et des grandes quantités de produits chimiques sont libérées dans les gaz d'échappement, notamment CO₂, CO, NO_x et SO₂, créant ainsi une altération de la qualité de l'air (Tsagué, 2009).

4. Inventaire des polluants atmosphériques

On considère habituellement comme polluant toute substance ajoutée au milieu en concentration suffisante pour produire un effet mesurable sur l'homme, les animaux, la végétation ou les matériaux de construction.

Les polluants atmosphériques comprennent donc toutes les substances naturelles ou artificielles susceptibles d'être aéroportées : il s'agira de gaz, de particules solides de gouttelettes liquides ou de différents mélanges de ces formes.

On peut considérer deux grandes classes de polluants :

- *Les polluants primaires* : émis directement par les sources identifiables
- *Les polluants secondaires* : produits dans l'atmosphère par interaction entre différents polluants primaires ou réaction entre les polluants et les constituants normaux de l'atmosphère, avec ou sans activation photochimique (Degobert, 1992).

Tableau 1 : Les principaux polluants atmosphériques.

| Polluant | | Origine et source d'émission |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Composés Carbonés | Monoxyde de carbone (CO) | Gaz incolore, inodore, de densité voisine de celle de l'air, très toxique. Il est essentiellement engendré dans les processus de combustion (Degobert, 1992). |
| | Dioxyde de carbone (CO₂) | Un produit final normal de combustion de tout combustible carboné (biomasse, bois, charbon et variantes, pétrole et dérivés pétroliers). Et des métabolismes aérobies (respiration) (Degobert, 1992). |
| Oxydes d'azote (NO_x) | | Ils rassemblent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO ₂). Ils sont émis par les véhicules à moteurs ainsi que par les installations de combustion industrielles. Le NO se transforme, en présence d'oxygène, en NO ₂ . (Vincent, 2000). |
| Dioxyde de soufre (SO₂) | | Il provient essentiellement de la combustion de combustibles fossiles contenant du soufre: Fioul, charbon. Compte tenu du développement du nucléaire, de l'utilisation de combustibles moins chargés en soufre et des systèmes de dépollution des cheminées d'évacuation des fumées, des économies d'énergie (Anthony, 2003). |
| Composés organiques | Composés organiques volatils (COV) | Il s'agit d'hydrocarbures (évaporation des bacs de stockage pétroliers, remplissage des réservoirs automobiles), de composés organiques (procédés industriels ou de la combustion incomplète des combustibles), de solvants, de composés organiques émis par l'agriculture et par le milieu naturel. Ils interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère (Anthony, 2003). |
| | Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) | Dangereux pour la santé car cancérogènes, famille de composés formés de noyaux benzéniques. Ils proviennent de la combustion incomplète du charbon et des carburants. Les moteurs diesels sont une cause importante de la pollution de l'air par le HAP (Trappier, 2004). |
| | Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes (BTEX) | Sont des HAM. Ce sont des hydrocarbures imbrûlés (Malbreil, 1997), Les BTX sont très dangereux pour la santé (SFSP, 1996). Les émissions de benzène diminuent sensiblement avec un pot catalytique (Degobert, 1992). |
| | Polychlorobiphényle (PCB) | Est un composé aromatique organochloré non biodégradable, Il s'agit d'une substance très toxique. Le PCB est présent dans les huiles, l'essence et le gazole. Le PCB est présent sous forme gazeuse et particulaire (Granier et Al, 1991). |
| | Butadiène | Élément très réactif, le butadiène se forme par combustion incomplète du carburant, mais n'est pas émis par évaporation. L'utilisation de pots catalytiques permet sa réduction (S.F.S.P, 1996). |
| | Chloro-fluoro-carbones (CFC) | Les Chloro-fluoro-carbones sont utilisés dans les systèmes de climatisation des voitures, notamment les CFC-11 et CFC-12, (O.C.D.E, 1995; Escourrou, 1996). |
| | Métaux lourds | Qui sont principalement l'Arsenic (As), le Cadmium (Cd), le Chrome (Cr), le Cuivre (Cu), le Mercure (Hg), le Nickel (Ni), le Plomb (Pb), le Sélénium (Se) et le Zinc (Zn). Il existe différentes sources de métaux lourds qui contaminent l'atmosphère (C.I.T.E.P.A, 2012) |
| Particules en suspension | | Selon (Sammot, 2007), elles sont des polluants atmosphériques importants dont les principales sources sont l'utilisation de gazole (diesel) et d'essence des véhicules et les activités industrielles. Les particules sont classées en deux grandes catégories : Les PM10 et les PM2.5. |
| Polluants secondaires | L'ozone (O₃) | On parle du mauvais ozone troposphérique (10% de l'ozone). c'est un gaz agressif qui pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il contribue aux pluies acides ainsi qu'à l'effet de serre (Anthony 2003). |
| | L'acide sulfurique (H₂SO₄) | L'acide sulfurique est un acide fort qui résulte des réactions du SO ₂ avec l'eau, il est particulièrement néfaste pour les sols parce qu'il lessive les ions calcium entraînant ainsi l'acidification du sol (Atkins et al, 1998). |
| | L'acide nitrique (HNO₃) | IL est le principal devenir de NO ₂ , les véhicules diesel émettent en faible quantité mais directement de l'acide nitrique c'est un acide fort qui contribue à l'acidification et à l'eutrophisation des milieux (Malbreil, 1997). |

5. les impacts de la pollution atmosphérique

5.1. L'impact sur la santé

Plus de 12m³ d'air passe en moyenne chaque jour dans les poumons de chaque individu, elle varie avec l'âge et l'activité physique (Degobert, 1992).

La pollution atmosphérique touche en premier lieu les personnes les plus fragiles, notamment les jeunes enfants, les personnes âgées et les asthmatiques, elle affecte d'abord les fonctions respiratoires et cardiaques mais sur le long terme peuvent également se rajouter des effets cancérigènes (Nicolas et *al*, 2002).

Les maladies respiratoires et cardiovasculaires sont actuellement la quatrième cause de mortalité chez l'homme les principales sont :

- ✓ L'asthme et les crises d'essoufflement.
- ✓ Cancers des voies respiratoires.
- ✓ Les affections cardiovasculaires.
- ✓ Les effets neuropsychiques : perte d'attention et vigilance dangereuse pour les conducteurs de véhicules, les odeurs désagréables du type diesel véhiculé par l'air, entraînent une gêne sensorielle, des irritations nasale, oculaire et de la gorge (Degobert, 1992).

5.2. L'impact sur le patrimoine bâti

Le développement des industries, des transports et de la production d'énergie a eu pour conséquence d'importantes émissions de soufre et de poussières. Avec les évolutions technologiques, les émissions sont aujourd'hui caractérisées par les NO_x et les microsuies. Les polluants issus du trafic automobile rongent et encrassent les bâtiments. Les effets sont la corrosion et le noircissement des bâtiments (formation d'une croûte noire) (P.P.A, 2004).

5.3. L'impact sur les végétaux

Les effets produits par la plus part des polluants sont très variables et dépendent de la sensibilité des espèces, de l'intensité et de la durée de l'exposition au polluant. Les polluants gazeux comme SO₂ et NO_x pénètrent dans les feuilles par les ouvertures des stomates et suivent la même voie que le CO₂, les premiers sites endommagés sont les chloroplastes et la photosynthèse, l'inhibition des enzymes.

Les symptômes visibles sont la décoloration et la nécrose. L'ozone pénètre aussi par les stomates, il provoque la diminution de l'assimilation du carbone, provoquant le dépérissement des forêts et des pertes de production cultivée ex : (les céréales), (Hopkins et *al*, 2003).

5.4. L'impact sur les milieux aquatiques et les sols

Les oxydes de soufre et d'azote émis dans l'atmosphère sont les causes les plus importantes de l'acidité des précipitations, qui conduit au fur et à mesure à l'acidification des eaux de surface et des sols qui peut avoir des répercussions majeures sur les écosystèmes. L'acidification entraîne un appauvrissement de l'écosystème en éliminant les espèces les plus intolérantes à l'acidité, le dépérissement des forêts ou un rendement moindre en agriculture (Dupont, 2004). Cette baisse de diversité biologique peut entraîner dans certains cas l'effondrement de la chaîne alimentaire (Lacour, 2005).

5.5. L'impact sur la faune

Chez les animaux, la toxicité par les voies respiratoires est proche de celle rencontrée chez l'homme. On constate également certaines anomalies au niveau des élevages tels que des problèmes de fécondité chez les mammifères (P.R.Q.A, 2000).

5.6. L'impact sur l'échelle planétaire

5.6.1. L'effet de serre

C'est un phénomène naturel qui consiste en un réchauffement de l'atmosphère par des gaz dit « à effet de serre » capables d'absorber une partie du rayonnement infrarouge émis à la surface du globe. Indispensable à la vie, ce phénomène permet de maintenir une température moyenne de 15°C. Sans ces gaz, la température moyenne sur terre serait de (- 18) °C.

A l'inverse, une trop grande quantité de gaz à effet de serre rejetée dans l'atmosphère par l'activité humaine, contribue à un phénomène de réchauffement climatique. La production excessive de certains gaz est montrée du doigt à l'échelle planétaire. C'est principalement le cas du dioxyde de carbone(CO₂) qui présente de loin la plus forte contribution à l'effet de serre. Mais d'autres gaz (CFC, HFC, CH₄ et N₂O) et polluants secondaires, comme l'ozone troposphérique, présentent les mêmes effets.

L'augmentation de l'effet de serre contribue à l'augmentation de la température moyenne de la planète (+ 0,5° C au cours de la seconde moitié du XX^{ème} siècle) (C.E.T.E, 2007).

5.6.2. Changements climatiques

Sur le plan scientifique, à l'échelle internationale, on s'entend pour dire que la planète se réchauffe. Les scientifiques ont déterminé que la température de l'air à la surface de la terre avait augmenté d'environ 0,6 °C depuis la fin du XIX^e siècle. Les indices fournis par les anneaux de croissance des arbres, les coraux tropicaux et les carottes de glace du Groenland indiquent que, du moins dans le cas de l'hémisphère nord, le XX^{ème} siècle a été le plus chaud du dernier millénaire, les années 1990 ayant été la décennie la plus chaude du millénaire. En outre, le réchauffement se poursuit la plupart des experts conviennent que les températures moyennes de la planète augmenteront de 1,4 à 5,8 °C au cours du prochain siècle (Ogilvie, 2004).

6. L'indice ATMO

L'indice ATMO est un indicateur de la qualité de l'air qui dresse l'état de la pollution atmosphérique moyenne dans les agglomérations de 100 000 habitants. La qualité de l'air est d'autant plus mauvaise que cet indice est élevé. Son calcul repose sur les mesures journalières des quatre polluants : SO₂, NO₂, O₃, et les poussières. Chaque polluant se voit attribuer un sous-indice de qualité de l'air de 1 (très bon) à 10 (très mauvais).

- ✓ Pour les particules, l'indice est représenté par la concentration moyenne journalière enregistrée sur chaque site.
- ✓ Pour le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote, et l'ozone, l'indice est représenté par la concentration maximale horaire du jour sur chaque site.

Le chiffre final est égal au sous-indice du polluant le plus élevé. Pour des valeurs de O₃=7, SO₂=1, NO₂=5, et de poussières= 4, l'indice ATMO sera de 7 (ADEME, 2010).

C'est un mode de calcul qui ne reflète que le niveau d'un seul polluant et rend impossibles les comparaisons entre agglomérations (Salomon, 2003).

En Algérie, les réseaux de contrôle de la qualité de l'air sont présents au niveau : D'Alger, Annaba, Oran et Skikda. (samafia.dz, 2011).

Tableau 2 :L'indice ATMO en France .

| Qualificatif | Indice | Echelle PM ₁₀ | Echelle SO ₂ | Echelle NO ₂ | Echelle O ₃ |
|--------------|--------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | (moyenne des maxima journaliers) | (moyenne des maxima horaires) | | |
| Très bon | 1 | 0 à 9 µg/m ³ | 0 à 39 µg/m ³ | 0 à 29 µg/m ³ | 0 à 29 µg/m ³ |
| Très bon | 2 | 10-19 | 40-79 | 30-54 | 30-54 |
| Bon | 3 | 20-29 | 80-119 | 55-84 | 55-79 |
| Bon | 4 | 30-39 | 120-159 | 85-109 | 80-104 |
| Moyen | 5 | 40-49 | 160-199 | 110-134 | 105-129 |
| Médiocre | 6 | 50-64 | 200-249 | 135-164 | 130-149 |
| Médiocre | 7 | 65-79 | 250-299 | 165-199 | 150-179 |
| Mauvais | 8 | 80-99 | 300-399 | 200-274 | 180-209 |
| Mauvais | 9 | 100-124 | 400-499 | 275-399 | 210-239 |
| Très mauvais | 10 | ≥125 | ≥500 | ≥400 | ≥240 |

Source (ADEME, 2010).

7. Réglementation algérienne et les normes de la pollution atmosphérique

- ✓ **Objectifs de qualité** : Un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base de connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances sur la santé humaine ou sur l'environnement, à atteindre dans une période donnée (J.O.R.A.D.P N°01, 2006).
- ✓ **Valeur limite** : Un niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base de connaissances scientifiques dans le but d'éviter de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou l'environnement (J.O.R.A.D.P N°01, 2006).

- ✓ **Seuil d'information** : Un niveau de concentration des substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée a des effets limités et transitoires sur la santé de catégories de la population particulièrement sensibles (J.O.R.A.D.P N°01, 2006).

- ✓ **Seuil d'alerte** : Un niveau de concentration des substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou pour l'environnement, à partir duquel des mesures d'urgences doivent être prises (J.O.R.A.D.P N°01, 2006).

Tableau 3 : Les normes de pollution en Algérie.

| | Dioxyde d'azote | Dioxyde de soufre | Ozone | Particules fines en suspension |
|----------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objectif de qualité | 135 µg/Nm ³ | 150 µg/Nm ³ | 110 µg/Nm ³ | objectif de qualité : 50 µg/Nm ³ |
| Valeur limite | 200 µg/Nm ³ (centile 98) | 350 µg/Nm ³ (centile 99,9) | 200 µg/Nm ³ | 80 µg/Nm ³ |
| Seuil d'information | 400 µg/Nm ³ | 350 µg/Nm ³ | 180 µg/Nm ³ | Selon les caractéristiques physiques et chimiques des particules concernées. Les seuils d'alerte sont fixés |
| Seuil d'alerte | 600 µg/Nm ³ | 600 µg/Nm ³ | 360 µg/Nm ³ | le cas échéant, par arrêté conjoint du ministre |

Source (J.O.R.A.D.P N°01, 2006).

***II* Pollution atmosphérique d'origine automobile**

Aujourd'hui, l'usage de véhicules à moteur a considérablement augmenté dans le monde entier. Si en 1950, on comptait 53 millions de voitures, 40 ans plus tard le parc automobile est passé à 430 millions d'unités. Durant cette période, le taux de croissance s'est ralenti dans les pays hautement industrialisés, alors que la croissance démographique ainsi que le développement urbain et industriel ont accéléré l'utilisation des véhicules à moteurs, dans les autres pays. Les effets négatifs sur la santé sont particulièrement aigus dans les villes des pays en développement où la croissance du parc automobile est rapide et non maîtrisée (Amadou, 2001).

1. Types de pollution en milieu urbain

Différents types de pollution peuvent être à l'origine de nuisances en milieu routier et urbain, elles se classent en quatre grandes catégories (S.E.T.R.A, 1995).

1.1. La pollution chronique

C'est l'ensemble des pollutions liées à la circulation des véhicules, l'usure de la chaussée, des pneumatiques et des pots catalytiques, les émissions dues aux gaz d'échappement, l'abrasion et la corrosion des métaux constitutifs des véhicules (pneumatiques, freins, carrosserie), la combustion des carburants, la fuite de divers liquides (huile de moteur, antigel), et la corrosion des véhicules et des barrières de sécurité participent à cette pollution (Durand, 2003).

1.2. La pollution accidentelle

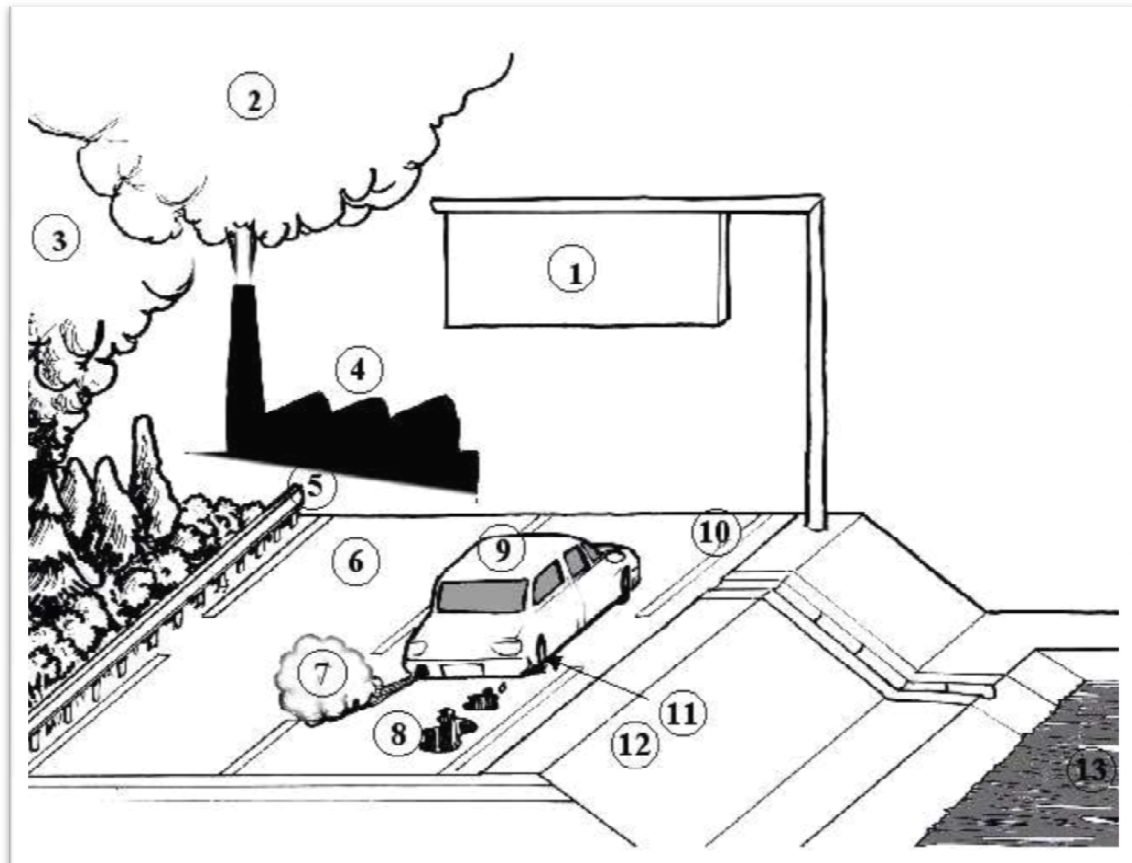
Elle est consécutive à un accident de circulation au cours duquel des matières dangereuses sont déversées avec des conséquences plus ou moins graves selon la quantité et la nature produits déversés et le type de milieu récepteur (Griffond, 1993). Ce type de pollution est peu probable, il est apparu difficile de la prendre en compte (Leger, 1994).

1.3. La pollution saisonnière

Elle est engendrée par les produits de déverglacement, fondants abrasifs, désherbage des bas-côtés utilisés dans le cadre du service hivernal. Ces opérations sont nécessaires au maintien de bonnes conditions de circulation et nécessitent l'emploi de produits qui peuvent présenter des risques pour l'environnement (Durand, 2003).

1.4. La pollution temporaire

Cette pollution est liée aux travaux de construction de la route (poussières, rejets d'huiles d'engins...). Cette pollution ne sera pas évoquée du fait de son caractère ponctuel et antérieur à la mise en circulation de la route (Durand, 2003).



Hydrocarbures, HAP: 2, 3, 6, 7, 8, 11, 13 ; Zinc « Zn »: 1, 2, 4, 5, 8, 11, 12, 13 ; Nickel, Chrome « Ni », « Cr » : 2, 9, 10, 13 ; Cuivre « Cu » : 2, 4, 9, 12, 13 ; Plomb « Pb » : 2, 4, 7, 12, 13 ; Cadmium « Cd » : 1, 2, 8, 11, 13.

1 : panneaux de signalisation ; 2 : combustions industrielles, domestiques, ... ; 3 : feu de forêts ;

4 : toitures ; 5 : glissières de sécurité ; 6 : routes (enrobés) ; 7 : combustion à l'échappement ; 8 : huiles ; 9 : carrosserie ; 10 : peintures ; 11 : pneumatiques ; 12 : garnitures de freins ; 13 : boues de bassins.

Fig.1: Principales sources de polluants en milieu routier et urbain, (Durand, 2003).

2. Echantillons de carburants

Selon Guibet et *al.*, (1997), un carburant est l'ensemble des produits le plus souvent liquides, le plus rarement gazeux dont la combustion en présence de l'air permet le fonctionnement d'un moteur thermique. Celui-ci transforme l'énergie chimique du carburant

en énergie mécanique. Les carburants sont principalement constitués d'hydrocarbures (H et C), de composés minéraux (Souffre), des métaux (Plomb, Cuivre).

L'effet de la composition des carburants sur les émissions polluantes peut se mesurer à deux niveaux : le rejet à l'échappement et les pertes par évaporation (au moment du remplissage du réservoir ou à l'arrêt à la saison chaude).

2.1. L'essence

Les essences sont des mélanges d'hydrocarbures constitués de nombreuses substances: antidétonants, antioxydants, inhibiteurs de corrosion, additifs antirouille, agents antigivre, correcteurs de cognement, colorants et lubrifiants pour haut de cylindres. C'est un produit très inflammable, La composition de l'essence étant assez variable (Degobert, 1992).

2.2. Le diesel

C'est un des produits de la distillation des pétroles bruts. C'est un mélange complexe constitué d'hydrocarbures paraffiniques, naphthéniques, aromatiques et oléfiniques, avec principalement des hydrocarbures de C9 à C20. Son état physique est liquide avec une odeur caractéristique (Degobert, 1992).

Les particules émises par les moteurs diesel sont en quantités 10 à 20 fois supérieures à celles émises par les moteurs à essence. Les particules se composent de particules élémentaires dont les tailles vont de 3 à 500 nm (Courtois et *al*, 2005).

2.3. Gaz Naturel Véhicules (GNV)

Le GNV ou gaz naturel pour véhicules est composé à plus de 85%de méthane (identique au gaz naturel domestique). La composition exacte du carburant dépend de la source du gaz naturel, naturellement incolore et inodore. Le GNV contient 50% moins de CO et de HC, pas de soufre ni de particules (Ademe, 2010).

2.4. Gaz de pétrole liquéfiés (GPL)

Le GPL est constitué d'un mélange de 50% de Butane (C₄H₁₀) et 50 % de Propane (C₃H₈). Le Butane et le Propane, définis sous le terme général de Gaz de Pétrole Liquéfiés, sont extraits soit du Pétrole brut au cours des opérations de raffinage, soit du gaz naturel et des gaz associés dans les gisements de Pétrole (C.F.B.P, 2009).

3. Pollution automobile et les facteurs influençant

Les rejets gazeux proviennent essentiellement de l'échappement des véhicules. Dans une moindre part, ils comprennent également les gaz de carter, les vapeurs de carburants émanant du réservoir et du carburateur, et les émissions causées par l'usure des pneumatiques et des freins (O.R.A.M.I.P, 2007).

Les quantités de polluants rejetées par un véhicule au cours d'une unité d'utilisation (le kilomètre ou la seconde) sont appelées « émissions unitaires ». Ces émissions sont la résultante de toute une série de variables : type de véhicule, conduite du conducteur, conditions de circulation, caractéristiques de la route et des conditions climatiques (Deletraz, 2002).

3.1. Les facteurs liés aux véhicules

Les caractéristiques du véhicule ont une grande influence sur les émissions unitaires : type de véhicule, technologies mises en œuvre, type de carburant mais aussi l'entretien, le niveau de chargement et l'aérodynamisme. D'une manière générale, plus les véhicules sont lourds, plus la consommation de carburant augmente et plus les émissions sont importantes. Le niveau d'équipements de confort (notamment l'air conditionné) accroît la demande énergétique (Deletraz, 2002).

3.2. Les facteurs liés aux conditions de circulation

Les émissions varient énormément selon les conditions de circulation : urbain lent, urbain fluide, route, autoroute, etc. En effet, les phases d'accélération et de décélération, la durée des arrêts aux feux (moteur au ralenti) ont un grand effet sur les niveaux d'émissions. Or, la vitesse est le paramètre essentiel des émissions bien que le style de conduite joue également mais dans une moindre mesure (Joumard et *al*, 1990). Ainsi, les vitesses rapides sur autoroute contribuent à l'augmentation des émissions (Noppe, 1998).

3.3. Les facteurs liés à la route

La route sur laquelle se déplace un véhicule influence elle aussi les émissions de ce dernier. Deux paramètres sont à prendre en compte : l'altitude et la pente.

Les voitures sont réglées pour que les émissions soient minimales au niveau de la mer; elles augmentent considérablement avec l'altitude : elles émettaient 4 fois plus de CO à 2500 m (Deletraz, 2002). La pente, qui va souvent de pair avec les hautes altitudes, aggrave le niveau

d'émission des véhicules : la pente oblige le moteur à développer plus de puissance, donc sa consommation et finalement, à rejeter plus de polluants (Joumard et al, 1990).

3.4. Les facteurs climatiques

Lors du démarrage à froid, et tant que le moteur n'a pas atteint 70°C (Degobert, 1992), les émissions sont plus importantes. La température de l'air joue donc un rôle puisqu'elle conditionne la durée qu'il faudra au moteur pour atteindre cette température. Le temps de chauffe sera d'autant plus long que la température ambiante est basse. Aux émissions de polluants supérieures en hiver, s'ajoute le dépôt de nombreux polluant gazeux sous l'effet du faible ensoleillement et des basses températures (Hautala et al, 1995).

Le vent, en ralentissant ou en facilitant le déplacement des véhicules constitue un autre paramètre influençant les émissions. Pour finir, l'ensoleillement ne joue pas de rôle sur les émissions directes des véhicules, mais les rayonnements UV sont les déclencheurs de la chimie atmosphérique à l'origine de la formation de polluants secondaires, l'ozone essentiellement (Deletraz, 2002).

3.5. Les facteurs liés au conducteur

Il s'agit essentiellement du style de conduite. Un véhicule conduit de manière dite « Agressive ou performante » (forte augmentation des rapports entre les vitesses, accélération, freinage, vitesse volontairement élevés) émettra une quantité de polluants supérieure au même véhicule conduit de manière « normale ou économique ». Les écarts entre les deux styles de conduite sont significatifs dans la plupart des cas, et se font essentiellement dans la montée en vitesse (Pillot, 1997).

4. Les unités de mesures de polluants

Selon Deletraz (2002), la concentration d'un polluant peut s'exprimer de manière relative ou par unité de mesure :

- Pour les gaz, en concentration relative :
 - ppm ou ppmv = partie par million en volume (10^{-6}) soit $1\text{cm}^3/\text{m}^3$, c'est-à-dire sur un million de molécules d'air, on trouve une molécule du polluant en question.
 - ppb ou ppbv = partie par milliard (billion en anglais) en volume (10^{-9}) soit = $1\text{mm}^3/\text{m}^3$.

- ppt ou pptv = partie par trillion en volume (10⁻¹²), unité rarement employée avec les concentrations des polluants « courants » (Daniel et al, 2000).
- Pour les gaz et particules, en masse par unité de volume :
 - mg/m³ = 10⁻³ g par m³ d'air (milligramme).
 - µg/m³ = 10⁻⁶ g par m³ d'air (microgramme).
 - ng/m³ = 10⁻⁹ g par m³ d'air (nano gramme).

5. Le dépôt de polluant

La déposition de polluant peut se faire sous forme sèche ou sous forme humide. Dans le premier cas, le dépôt est exprimé en kg/ha/an ou en g/m²/s ; dans le second cas, il est exprimé en concentration : mg/L.

6. La masse de polluant émise dans l'atmosphère

À petite échelle, la quantité de polluant émise dans l'atmosphère est souvent exprimée en Mt/an = millions de tonnes par an.

En ce qui concerne la pollution automobile, elle est souvent ramenée à la distance : on mesure la masse moyenne émise en grammes par véhicule pour 1 km (g/km). Les normes peuvent aussi être exprimées en g/kWh ; il s'agit alors de la masse moyenne émise en grammes par véhicule par unité d'énergie dépensée. C'est généralement l'unité utilisée pour les poids lourds (Anthony, 2003).

7. Les cycles de la pollution

Les émissions de polluants évoluent en fonction de deux facteurs principaux : les conditions météorologiques et les fluctuations des émissions. Ces deux éléments sont eux-mêmes régis par un fonctionnement à plusieurs cycles : cycles annuel, hebdomadaire et journalier. (Anthony, 2003).

7.1. Le cycle annuel

Selon Deletraz (2002), les concentrations des différents polluants évoluent au fil des mois. Elles permettent de mettre en évidence, soit l'influence de la saison dans les émissions de polluants (ceux liés au chauffage ou à l'augmentation des besoins en électricité), soit l'influence

directe de conditions météorologiques particulières sur le comportement des polluants (transformation chimique notamment ; stabilité atmosphérique plus ou moins marquée).

7.2. Le cycle hebdomadaire

Si les conditions météorologiques ne connaissent pas de cycle hebdomadaire, la semaine rythme en revanche les activités humaines : les émissions varient fortement entre les jours ouvrés et le week-end (trafic, activité économique).

7.3. Le cycle journalier

A l'échelle de la journée, on observe des variations dans les émissions liées aux activités humaines (heures de pointes) ainsi que les grands phénomènes physiques et chimiques induits par le cycle solaire (variation de l'ensoleillement). Les conditions dispersives évoluent au long d'une journée complète : stabilité des basses couches pendant la nuit, conditions dispersives plus favorables pendant la journée mais ensoleillement générateur de photochimie... D'une manière générale, le cycle journalier met en évidence de grandes différences entre le jour et la nuit.

***III* Pollution par les oxydes d'azote d'origine routière**

Les émissions polluantes sont au centre des préoccupations quand on parle de risque environnemental. Les NO_x sont intimement impliqués dans tous les phénomènes les plus préoccupants de notre temps : retombées acides, effet de serre, smog photochimique, destruction de l'ozone stratosphérique, etc. Leurs émissions doivent donc être limitées à tout prix. Le secteur des transports est la principale source d'émission d'oxydes d'azote (59%) et est responsable de 74% des émissions en milieu rural (Joumard, 1993). De ce fait, le dioxyde d'azote est considéré comme le meilleur traceur des émissions véhiculaires (Truscott *et al.*, 2005).

1. Les oxydes d'azote (NO_x)

Le vocable NO_x est le terme générique désignant une série de composés contenant de l'azote et de l'oxygène à différents étages d'oxydation. On y retrouve ainsi les espèces protoxyde d'azote N₂O, monoxyde d'azote NO, dioxyde d'azote NO₂, tétraoxyde d'azote N₂O₄ et trioxyde d'azote N₂O₃ (parfois aussi le N₂O₅), mais également, en présence de vapeur d'eau, les acides HNO₂ et HNO₃, respectivement nitreux et nitrique (Diane, 2010).

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques des NO_x .

| | État | Couleur | Poids Moléculaire (grammes) | T ⁰ Fusion (°C) | T ⁰ Ébullition (°C) | Masse volumique (g/cm ³) | Soluble dans l'eau (ml/L) à 0°C |
|-----------------|------|---------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|
| NO | Gaz | Incolore | 30 | -152 | -164 | 1.34 | Non |
| NO ₂ | Gaz | Brun rouge | 46 | 21 | -11 | 1.45 | 73.4 |

Source (Jean-Sylvain *et al.*, 2011).

Les oxydes d'azote dans l'atmosphère se détectent par une couleur jaune-brun à brun-rouge caractéristique qui provient de la présence du NO₂. Un smog atmosphérique qui présente cette couleur caractéristique nous permet donc d'indiquer la présence d'oxydes d'azote. Comme

le NO₂ est soluble dans l'eau, il peut par la suite de transformations chimiques, donner lieu à des précipitations acides, (J-Sylvain et *al*, 2011).

1.1. L'origine des oxydes d'azote

Les oxydes d'azote résultent principalement de la combinaison entre l'oxygène et l'azote de l'air sous l'effet des hautes températures obtenues dans les processus de combustion, (Truscott et *al*, 2005). Le monoxyde d'azote, NO, est émis principalement par les moteurs des véhicules et par les installations fixes. Au contact de l'air, ce monoxyde d'azote est rapidement oxydé en dioxyde d'azote, NO₂.

La pollution par les oxydes d'azote est plus forte à l'automne et en hiver. Néanmoins, les oxydes d'azote restent des polluants essentiellement liés au trafic routier. C'est pourquoi à l'échelle hebdomadaire ainsi que journalière, les niveaux d'oxydes d'azote suivent les variations du trafic.

2. Transformations chimiques des oxydes d'azote

2.1. Formation des NO_x dans le moteur

Les températures de combustion atteintes dans un moteur à combustion interne (de l'ordre de 2500 K) entraînent la formation d'oxyde nitrique NO, celui-ci va subir ensuite une oxydation en NO₂ mais celle-ci étant lente elle va se poursuivre durant l'échappement. La situation d'équilibre entre ces deux constituants se trouve à des pourcentages de NO₂ très faibles dans les NO_x pour les moteurs à essence et atteignant jusqu'à 0,3 pour les diesels. La vitesse de formation des NO augmente de manière exponentielle avec la température de combustion c'est donc le facteur prépondérant qui régit les émissions du moteur, (Martin, 2003).

2.2. Transformations des NO_x dans l'air

L'émission dans l'atmosphère des différentes espèces d'azote intervient principalement sous forme de NO. Ce composé est transformé en une grande variété d'espèces différentes. La plus grande partie est très rapidement oxydée en NO₂. Les différentes réactions impliquent l'action de facteurs abiotiques tels que l'humidité ou l'intensité des radiations solaires, induisant la transformation des polluants primaires en polluants secondaires.

A terme, les transformations des NO_x aboutissent soit à l'élimination « définitive » de l'azote réactif de l'atmosphère, essentiellement par la formation d'acide nitrique (HNO₃), soit à un recyclage de l'azote par la formation d'espèces réservoirs de NO_x (Bey, 1997).

La Figure ci-dessous présente les principales voies de réaction des oxydes d'azote et les transformations chimiques de NO conduisant, à terme, au stockage (réservoir) ou à la destruction de ce composé (Deletraz, 2002).

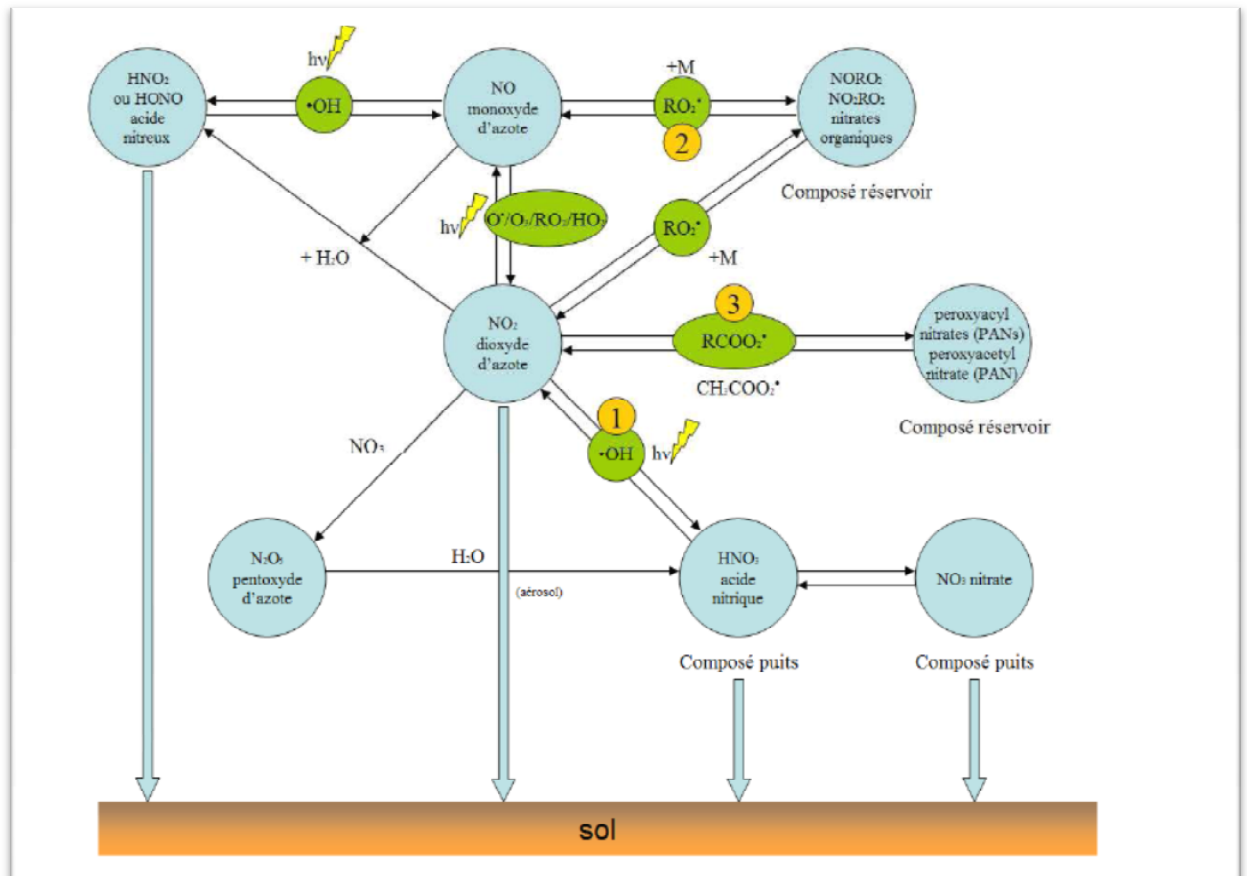
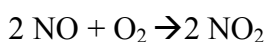


Fig.2 : Principes généraux de stockage et d'élimination des oxydes d'azote (Deletraz, 2002).

La formation du monoxyde d'azote se fait par contact de l'azote et de l'oxygène de l'air en contact avec la chaleur d'un moteur, d'un feu, d'une éruption volcanique ou autres sources de chaleur impliquant une combustion:



Le dioxyde d'azote (NO₂) se forme par l'ajout d'oxygène (O₂) au monoxyde d'azote (NO) par le procédé d'oxydation comme le démontre la réaction suivante (Boudreault et al, 2011) :



Ce dioxyde d'azote (NO_2) peut également être stocké dans des composés réservoirs, (Bey, 1997; Fenneteaux, 1998).

Les composés dits « réservoirs de NO_x » se présentent sous des formes variées. Les principales espèces actuellement recensées sont le PAN (peroxyacetylnitrate) et autres nitrates organiques (alkyl nitrates ou nitrates d'alcoyles, désignés par l'espèce modèle RONO_2). Ils sont caractérisés par une faible réactivité photochimique et une grande stabilité à basse température. Ces espèces sont ensuite susceptibles, par réaction photolytique, radicalaire ou par décomposition thermique, de libérer des molécules de NO_x .

Le PAN est le plus important de ces réservoirs. Son origine semble être exclusivement liée aux phénomènes anthropiques. C'est un composé courant des brouillards photochimiques urbains, issu de la réaction du radical organique peroxyacétyle CH_3COO_2 avec une molécule de dioxyde d'azote. Ce composé est principalement sujet à la décomposition thermique libérant NO_2 et le radical peroxyacétyle. Ainsi, lorsque la température est basse, le PAN peut donc être transporté sur de très longues distances. Tout comme l'ozone, les concentrations maximales de PAN sont rencontrées en retrait des sources anthropiques fortes (Fenneteaux, 1998).

Enfin, NO_2 peut également évoluer sous forme d'acide nitrique HNO_3 qui, une fois formé, disparaît de l'atmosphère par dépôt sec ou humide. L'acide nitrique peut redonner NO_2 , mais la constante de vitesse associée est très faible. D'un temps de vie compris entre 1 et 10 jours, cette espèce constitue un puits direct de NO_x , (Fenneteaux, 1998) ; (Pont, 2000) or, le volet de cette synthèse consacré à la dispersion a montré que les NO_x sont très réactifs dans l'atmosphère. Ce qui fait que les réactions chimiques s'enchaînent avant que les composés azotés produits ne migrent vers d'autres régions ou ne se déposent.

Pour résumer, les NO_x se transforment plus ou moins rapidement et de façon non linéaire, en fonction de nombreux paramètres dont les plus connus sont la température, l'ensoleillement (rayonnement) et les concentrations des autres polluants (composés organiques notamment). La majeure partie des dépôts azotés se fait sous forme de NO_2 et de HNO_3 (Deletraz, 2002).

3. Variations des émissions NO_x jour/nuit

« En plus des variations saisonnières, on constate également des variations de la pollution en NO_x au cours de la journée. Le trafic est dix fois plus faible la nuit que le jour. Toutefois, les valeurs de NO_x mesurées sont en général plus élevées la nuit. Les causes sont à nouveau les conditions de dispersion. Le refroidissement induit par la baisse du rayonnement solaire

provoque la nuit une disposition par couches stables de l'air proche du sol et ainsi une concentration des substances polluantes» (Lufhygiene, 2000).

3.1. La chimie diurne des NO_x

Au cours de la journée, les oxydes d'azote présents dans le compartiment atmosphérique réagissent selon deux voies de réactions conduisant soit au stockage soit à l'élimination NO_x comme il est cité avant. (Fig. 2)

3.2. La chimie nocturne des NO_x

Au cours de la nuit, la production par photolyse de radicaux OH et de NO s'arrête, conduisant à de nouvelles réactions chimiques impliquant des radicaux NO₃. La réaction nocturne NO₃ + NO₂ → N₂O₅ (pentoxyde d'azote) élimine le dioxyde d'azote et en présence d'eau dans les aérosols, le N₂O₅ forme de l'acide nitrique lui-même éliminé sous forme de dépôt sec ou humide (puits) (Bey, 1997; Deletraz, 2002).

4. Le transport des NO_x

Un nombre limité de travaux ont porté sur le transport des NO_x issus du trafic routier. On peut citer plus particulièrement les travaux de Gilbert et *al* (2003) au Canada, Pleijel et *al* (2004) en Suède, de Truscott et *al* (2005) en Ecosse, Imhof et *al* (2005) en Allemagne. Concernant la diffusion latérale, de nombreux travaux décrivent une décroissance exponentielle en fonction de la distance à l'axe routier pour des distances comprises entre 10m et 100m selon les auteurs à l'exception de Gilbert (1300m). En Allemagne, le gradient vertical mesuré à 60m et 84m de l'axe autoroutier est dépendant des vents, les NO_x restant à quelques mètres du sol ou au contraire présents jusqu'au sommet des tours de mesure 50m (Imhof et *al*, 2005).

5. Les principaux modes de déposition des oxydes d'azote

Les transferts des polluants primaires ou secondaires vers le sol se font sous différentes formes, dépôts secs, dépôts humides, et dépôts occultes (Jussy, 1998).

5.1. Les dépôts humides : appelés hydrométéores (pluie, neige, bruine, brouillard, ou givre) résultent de la solubilisation des composés azotés au sein de gouttelettes formées autour de fines particules d'aérosols, ou de l'entraînement mécanique au cours d'épisodes pluvieux rabattant les polluants en suspension vers le sol (Jussy, 1998).

5.2. Les dépôts secs : sont composés de diverses particules solides (poussières, aérosols...) de taille généralement inférieure à 2 μm (Jussy, 1998) qui se déposent sur les surfaces (sol, végétaux, ...) et de gaz. Les gaz diffusent de l'atmosphère vers la couche limite foliaire, à la surface des végétaux (Jussy, 1998).

5.3. Les dépôts occultes : sont une variante de la déposition humide consistant en l'interception par la végétation des polluants solubilisés au sein des fines gouttelettes formant la brume et le brouillard (Eiden et al, 1994; Burkhardt et al, 2001). Dans le cas d'études menées en milieu de montagne, ce mode de déposition peut intervenir de manière significative (Jussy, 1998).

4. L'impact des NO_x

4.1. Effets sur l'environnement

Les oxydes d'azote sont des composés très réactifs à travers le rôle essentiel qu'ils jouent dans la formation photochimique de l'ozone troposphérique. Au terme de la chaîne d'oxydation atmosphérique, les oxydes d'azote se transforment en acide nitrique. Cet acide fort a une influence directe sur le pH des eaux de pluies. Les dépôts azotés contribuent à deux phénomènes distincts mais pouvant agir simultanément en un même lieu : l'acidification et l'eutrophisation (J-Sylvain et al, 2011).

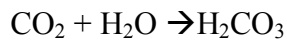
a) Oxydation photochimique (Formation d'ozone)

L'ozone est formé par l'action du rayonnement solaire et de la chaleur sur les oxydes d'azote et les composés organiques volatils (COV), c'est-à-dire principalement les hydrocarbures rejetés par les véhicules. L'ozone des basses couches de l'atmosphère se forme facilement, surtout lors des chaudes journées d'été. Les COV sont émis par diverses sources mobiles et fixes.

Quant aux NO_x, ils sont rejetés par les véhicules à moteur, les centrales électriques et d'autres sources de combustion. Les concentrations d'ozone fluctuent d'année en année et de ville en ville en fonction des conditions climatiques. Cet ozone endommage la végétation (Michael et al, 2000).

b) L'acidification et l'eutrophisation

La pluie est naturellement légèrement acide (pH ≈ 5,6). Le CO₂ rejeté lors de la respiration se dissout également dans l'eau présent dans l'atmosphère pour former de l'acide carbonique (H₂CO₃).



Si on ajoute à cela l'effet des oxydes d'azote et de soufre, on accentue fortement le caractère acide des précipitations (Diane, 2010).

Selon Lacour, (2005) ; "Les pluies acides" est un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide. Le SO₂ et les NO_x sont les principales causes des pluies acides. Ces polluants s'oxydent dans l'air pour former de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ou des sels. On les retrouve dans les nuages et les précipitations parfois à des milliers de kilomètres de leur point d'émission. Les pluies acides modifient les équilibres chimiques des milieux récepteurs, provoquant l'enrichissement des milieux en azote (l'eutrophisation), ceci peut se répercuter par des carences nutritives engendrant des chutes de rendement, ainsi que des jaunissements et la défoliation des arbres, l'acidification des sols est l'une des causes du dépérissement des forêts (lessivage des nutriments) et perturbe la faune et la flore. Elle participe également à l'acidification des cours d'eau. Cette dernière provoque une diminution de la biodiversité.

Mais elle agit aussi sur le patrimoine architectural qu'elle détériore, et sur la santé humaine (Dambrine, 2001).

5.2. Effets sur la santé

Les oxydes d'azote ont un impact sur la santé humaine, l'impact indirect est lié à leur contribution aux épisodes de pollution à l'ozone qui interviennent notamment l'été. En période hivernale, où la photochimie est ralentie par les faibles niveaux de rayonnement solaire, les épisodes de pollution concernent directement le NO₂ formé dans les panaches pollués. Les faibles taux de photolyse ne permettent pas la destruction du NO₂ qui s'accumule pour atteindre

des niveaux de concentration élevés. À des niveaux de concentration supérieurs à $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le dioxyde d'azote est un gaz toxique irritant pour les yeux et les voies respiratoires, hématologiques ou rénaux (Michael et al, 2000).

- ✓ Il pénètre dans les plus fines ramifications respiratoires pouvant entraîner une dégradation de la respiration, une hyperréactivité des bronches chez les asthmatiques, une augmentation de la sensibilité des bronches aux infections microbiennes chez les enfants.
- ✓ Il entraîne une baisse de la perception des odeurs, des modifications de la fonction pulmonaire, notamment l'apparition d'œdème pulmonaire (OMS, 2000).

5.3. Valeurs limites de l'OMS

a) Valeurs limites pour la protection de la santé humaine

Les médecins de l'Organisation Mondiale de la Santé ont établi, à partir d'études fonctionnelles et épidémiologiques et pour une vingtaine de polluants, des concentrations seuils en dessous desquelles des risques pour la santé humaine n'étaient pas à craindre en tenant compte des individus les plus sensibles : asthmatiques, jeunes enfants, personnes âgées...

- **Objectifs de qualité** : L'OMS propose comme valeur guide pour une exposition de longue durée (1 an) la valeur de $40 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$.
- **Seuil de recommandation et d'information** : L'OMS propose comme valeur guide pour une exposition de courte durée (1 heure) la valeur de $200 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$. Cette valeur est basée sur des tests cliniques auprès de personnes asthmatiques.
- **Seuils d'alerte** $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire.

b) Valeur limite pour la protection de la végétation

Sur les plantes, les oxydes d'azote ont non seulement une action nocive parce qu'ils acidifient le sol, mais aussi des effets toxiques directs, qui abîment les feuilles, tout autant que des effets fertilisants indésirables. Autant de phénomènes qui modifient la composition des espèces dans les écosystèmes à l'état naturel.

- $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle d'oxydes d'azote.

Chapitre *IV*

La bio surveillance végétale

La pollution entraîne des perturbations au niveau des êtres vivants (faune et flore) et des compartiments abiotiques fondamentaux (eau, sol, atmosphère) des milieux. Actuellement, on a besoin d'outils capables d'aborder de manière aussi globale et intégrée que possible ces problèmes, dans le souci d'améliorer connaissances et contrôle des phénomènes mis en cause.

Les méthodes physico-chimiques sont très onéreuses ; mais elles donnent rapidement et avec précision les concentrations en polluants dans l'air, alors que la biosurveillance ne peut donner de bonnes informations que sur les niveaux relatifs de ceux-ci, et ceci après un laps de temps plus ou moins long. La biosurveillance nous renseigne avant tout sur les effets de doses (concentration X temps) de polluants, et si elle ne mesure pas la pollution, par contre elle en mesure les effets (Garrec, 2012).

1. Définition et concepts de biosurveillance

Selon la définition proposée par Garrec et Van Haluwyn (2002), la biosurveillance végétale de la qualité de l'air est l'utilisation des réponses à tous les niveaux d'organisation biologique (écologique, physiologique, morphologique, biochimique, tissulaire, cellulaire et moléculaire), d'un ou plusieurs organismes vivants, pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement. En fonction des niveaux de réaction des organismes, trois concepts de biosurveillance ont été distingués :

- La bio-indication ; (altérations macroscopiques individuelles morphologiques ou tissulaires), Garrec et Van Haluwyn (2002) donnent un sens plus restrictif au terme de bio-indicateur dans la mesure où ils le considèrent comme « un simple relais ne faisant référence qu'à des effets observables au niveau de l'individu se traduisant par des altérations morphologiques, tissulaires ou physiologiques (croissance et reproduction) ». Les auteurs prennent ainsi la réaction au niveau individuel.
- La bio-intégration ; ce terme est utilisé lorsque la réaction se situe au niveau populationnel et/ou communautaire (disparition ou apparition d'espèces, variation densitaire). Les propos d'Echaubard (1995) concernant le monde animal peuvent être facilement transposés au monde végétal : « Toute disparition ou apparition d'une espèce, toute modification de la structure des peuplements végétaux d'un écosystème signifie donc une modification de l'environnement de cette espèce. L'introduction d'un polluant dans le milieu peut donc jouer le rôle d'acteur perturbateur, modifiant la structure des peuplements végétaux ».

- Un troisième concept qu'il s'agit de la recherche de bio-marqueurs. On peut donner la définition de Lagadic et *al.* (1997) : «Un bio-marqueur est un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant».
- En parallèle, la bioaccumulation s'ajoute, c'est-à-dire la capacité de certains organismes à accumuler les polluants présents dans l'air. Selon Ramade (1993), la bioaccumulation est un phénomène par lequel une substance, présente dans un biotope, s'accumule en surface et/ou pénètre dans un organisme même si elle n'a aucun rôle métabolique, voire même si elle est toxique à ce dernier.

Un grand nombre de travaux de biosurveillance végétale et fongique se basent sur ce quatrième concept, c'est pourquoi nous nous focaliserons sur les études de bioaccumulation dans ce travail.

Les principaux critères d'un bon bio-accumulateur des polluants atmosphériques sont :

- ✓ sa large représentation dans la zone d'étude.
- ✓ sa grande distribution géographique.
- ✓ sa facilité d'échantillonnage et d'identification, mais surtout la possibilité de faire la différence entre les dépôts atmosphériques et le piégeage racinaire (Palmieri et *al.*, 2005).

2. Organismes et méthodologies utilisés pour la bioaccumulation

Dans les études actuelles de bioaccumulation des polluants atmosphériques, trois grands types d'organismes sont utilisés : les lichens, les mousses et les végétaux supérieurs. On distingue deux approches : passive et active. La première consiste à récolter les individus naturellement présents sur la zone d'étude, la seconde à exposer sur des sites choisis des individus préalablement cultivés dans des conditions standardisées ou récoltés dans des milieux non contaminés.

2.1. Les lichens

Un lichen est une association symbiotique entre un champignon et une algue. Le thalle constitue la partie végétative visible et porte les organes reproducteurs. Les lichens sont des organismes poikilohydriques, c'est-à-dire que leur humidité dépend de celle de l'environnement. Ils sont pérennes, dépourvus de cuticule, de stomates et de racines, ce qui les rend exclusivement dépendants de l'atmosphère pour leur nutrition. N'ayant pas de moyen de protection vis-à-vis

des polluants, ils absorbent les polluants présents dans l'air en même temps que les éléments qui leur sont nécessaires, et les accumulent dans leurs tissus. Ces mécanismes d'accumulation ont été décrits et synthétisés dans diverses publications notamment par (Bargagli, 1998 ; Garty 2001 et Loppi et al, 2004).

2.2. Les mousses

Les mousses sont des végétaux qui ne possèdent pas de racines, mais des rhizoïdes qui permettent leur ancrage, mais n'interviennent pas dans l'absorption d'eau. Leur cuticule mince est généralement dépourvue de cires. Les mousses absorbent donc directement l'eau et les éléments nutritifs, mais aussi les polluants présents dans les dépôts atmosphériques humide ou secs, le piégeage de ces polluants se fait très facilement. L'architecture des mousses et leur grande capacité d'échanges permettent une bonne accumulation des particules (Amblard-Gross et al. 2002 ; Fernandez et al, 2002 ; Krommer et al, 2007).

2.3. Végétaux supérieurs

De par leur dépendance exclusive vis-à-vis de l'atmosphère, les lichens et les mousses sont donc considérés comme les meilleurs bio-accumulateurs. Cependant, dans les environnements fortement dégradés où la pression anthropique élevée provoque la raréfaction de ces organismes (Tomasevic et al, 2005 ; Berlizov et al, 2007 ; Gratani et al, 2008).

Le plus souvent, l'étude de l'accumulation se fait sur les feuilles. En effet, les particules se déposent en surface sous forme de dépôts secs ou humides (pluie, neige, ou brouillard), par gravité et par impaction sous l'effet du vent et peuvent ensuite être retenues en surface, (Breulmann et al, 2002 ; Gratani et al, 2008). Mais les particules peuvent aussi se retrouver dans le sol, après le lessivage par les pluies, et être absorbées par les racines puis circuler jusqu'aux feuilles (Breulmann et al, 2002), ce qui rend l'utilisation des végétaux supérieurs en tant que bio-accumulateurs plus complexe. Rossini Oliva et Mingorance (2006) montrent que le bois comme un élément interne, accumule principalement les éléments provenant du sol, au contraire des feuilles et de l'écorce qui sont exposées aux particules atmosphériques. Les écorces se sont révélées d'excellents accumulateurs. Elles peuvent capter les polluants apportés par l'atmosphère ou provenant du houppier par le ruissellement le long du tronc.

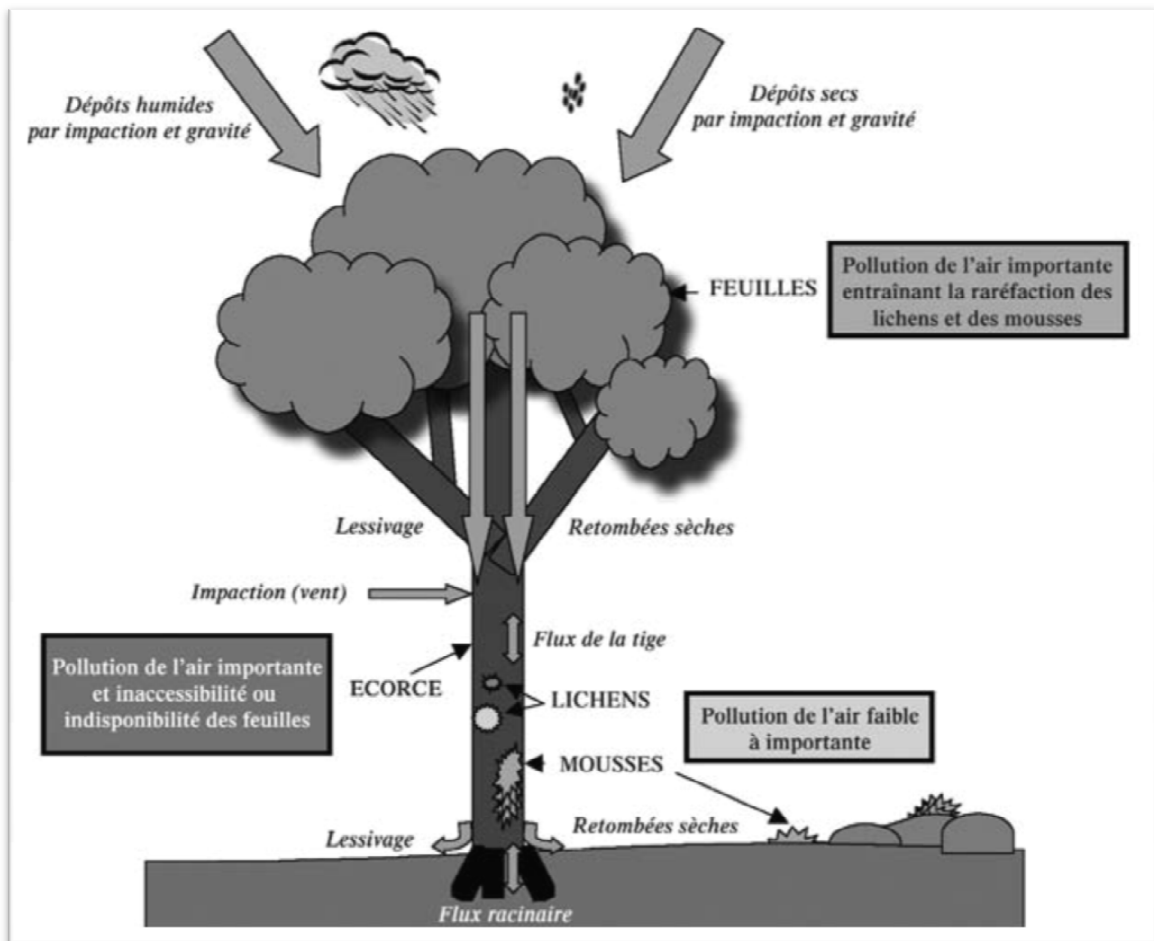


Fig. 3: Présentation schématique des taxons bio-accumulateurs et des paramètres régissant les phénomènes d'accumulation. (Illustration inspirée des schémas de Bargagli, 1998).

3. Lichens et pollution

Depuis déjà longtemps, les lichens sont utilisés dans la détection de la pollution atmosphérique. Ils sont avérés très utiles pour la qualité de l'air. C'est Nylander, entre 1866 et 1896 qui, le premier, émit l'idée que les lichens pouvaient être des « hygiomètres » de la qualité de l'air. Les causes de cette sensibilité sont à rechercher dans la constitution très particulière des lichens:

- ✓ Les lichens sont dépendants de l'atmosphère pour leur nutrition et il n'y a pas de mécanismes de contrôle des échanges avec l'air. De plus, l'absorption de l'eau et des sels minéraux se fait sur toute la surface du thalle.

- ✓ Le métabolisme, très lent, est très actif quelles que soient les saisons, les lichens ont donc une grande longévité.
- ✓ Les lichens ont un grand pouvoir d'accumulation des substances prélevées dans l'atmosphère. Dans certaines couches (médulle), les filaments du champignon baignent dans une substance (mucilagineuse) qui piège les polluants. Ces substances toxiques peuvent être ensuite absorbées par l'algue ou le champignon. Vis à vis de la pollution atmosphérique, les lichens peuvent être considérés comme bio-indicateurs, bio-accumulateurs.

3.1. Cartographie lichénique

Des cartographies basées sur l'observation de la végétation lichénique facilitent le suivi dans l'espace et dans le temps de la pollution atmosphérique et permettent d'informer des effets d'une pollution sur la santé humaine. Plus récemment, une douzaine de lichénologues européens a élaboré un nouveau protocole d'évaluation de la qualité environnementale à l'aide de la cartographie de la diversité lichénique (Asta et *al*, 2002).

On utilise le plus souvent des lichens à thalle foliacé tels que *Xanthoria parietina* ou fruticuleux *Pseudovernia furferacea*, lichen qui présente de grandes surfaces d'adsorption des polluants et des échanges importants avec le milieu.

3.2. Fiche technique de *Xanthoria parietina*

3.2.1. Classification scientifique

Tableau 5 : classification taxonomique de *Xanthoria parietina*

| Division | Classe | Ordre | Famille | Genre | Espèces |
|-------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|------------------|---------------------|
| <i>Ascomycota</i> | <i>Lecanoromycete</i> | <i>Teloshistales</i> | <i>Telohistaceae</i> | <i>Xanthoria</i> | <i>X. parietina</i> |

3.2.2. Description : *Xanthoria parietina* est un lichen à Thalle foliacé, jaune orangé à lobes plats, de 1 à 6 mm de large, arrondis aux extrémités.

3.2.3. Tests aux réactifs : K+ rouge.

3.2.4. Apothécies : Généralement nombreuses dans la partie centrale, jusqu'à 4 mm de diamètre; il présente un disque jaune-orangé, bord thallin persistant.

3.2.5. Spores : Incolores, polariloculaires, 10-17 x 6-9 μm .

3.2.6. Écologie : Sur tout substrat, rochers acides ou calcaires, toits, troncs d'arbres. (Maatoug et al, 2007)



Fig.4 : Image de *Xanthoria parietina* (Cliché SOUDANI,2012)

Partie

Expérimentale

Chapitre I
***M*atériel et**
méthodes

I. Caractéristiques générale de la zone d'étude

1. Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Tiaret a une superficie de 2.008.664 Ha est à vocation agro sylvo-pastorale ; elle est localisée au Nord centre Ouest de l'Algérie, sur les hauts plateaux Ouest entre la chaîne Tellienne au Nord et la chaîne Atlassienne au Sud. Tiaret est délimitée au nord, par Relizane, et de Tissemsilet, à l'ouest par les wilayates de Mascara et Saïda, à l'est la willaya de Djelfa, au sud et sud-est par Laghouat et el Bayadh.

1.1. Localisation de la zone d'étude

Notre zone d'étude est localisée dans la commune de Tiaret, son territoire s'étend sur une superficie totale de 12272 Ha. Il est située au pied des dernières contre forts de l'Atlas Tellien dans une région à vaste domaine Tabulaire s'étendant au pied de l'Ouarsenis où prédominent des formes planes emboîtées entre 900 et 1100 m d'altitude et à l'orée des vastes plaines des hauts plateaux, elle est limitée par les communes de piémonts et de contact avec la région Sud sub-steppique (Mellakou et Bouchekif).

Une description du paysage naturel montre que notre zone d'étude, ne présente pas une entité homogène. Le un tiers des surfaces est représenté par des pentes supérieures à 25%, taux énorme pour un espace très limité. Le reste est constitué par de faibles pentes en inclinaison vers le Sud Est (URBATIAT, 2011).

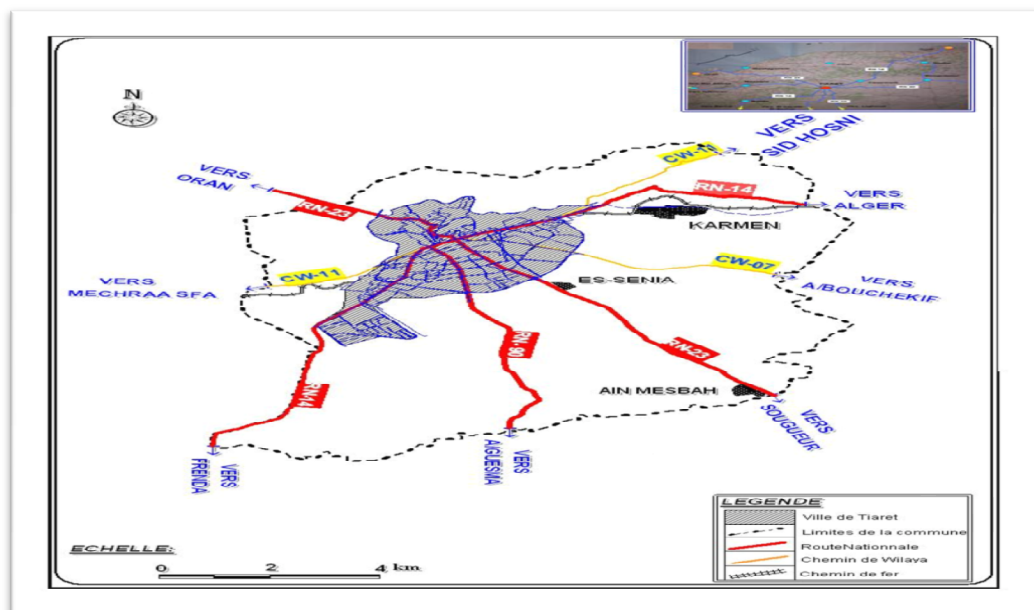


Fig.5 Localisation de la zone d'étude, (URBATIAT, 2012).

1.2. Organisation structurale de la ville de Tiaret

Le tissu urbain de la ville de Tiaret est constitué de deux grandes entités totalement différentes correspondant à deux périodes distinctes de l'urbanisation, la première est une construction ancienne relative à l'époque coloniale localisée au nord, elle joue le rôle du centre-ville. La deuxième est une construction nouvelle caractérisée par un style urbain différent que la première, elle se localise principalement dans le sud de la ville.

2. Infrastructure de base

2.1. Le réseau routier

La ville de Tiaret compte un réseau routier urbain important, plus de 87 Km dont 59 Km de route nationale et 28 Km de chemins de wilaya.

2.2. Etat du réseau

- ✓ Mauvais état : 22 Km (25.28 %)
- ✓ Etat moyen : 21 Km (24.13%)
- ✓ Bon état : 42 Km (48.27 %)

En vue de sa localisation stratégique, notre zone d'étude est le carrefour de plusieurs voies de communication d'une importance nationale, mais dont l'état reste au demeurant moyen (DTP, 2012).

a). Les routes nationales

- La R.N. -14 : Lie Tiaret à la région sud-ouest de la Wilaya et aux Wilayates de Saida et Mascara. Elle relie aussi Tiaret à sa région nord-est et à Alger par Tissemsilet.
- La R.N. - 23 : C'est un axe très important qui ouvre la commune sur le nord-ouest par Relizane et sur le sud-est par Aflou.
- La R.N. - 90 ; Un troisième axe très important reliant la commune au nord par Oued R'hiou et au sud par Ain Guesma.
- La R.N.-91 : la liaison Tiaret–Bayadh sur 70 Kms.

b). Les Chemins de Wilaya

Le réseau secondaire est généralement dans un état moyen. Il draine un volume de trafic peu important par rapport au réseau primaire. On note:

- CW-07 : C'est le plus important, car il relie Tiaret à Bouchekif.

- CW-11 : Relie la commune à Sidi Hosni à l'est, et à MechraaSfa à l'Ouest (DPAT, 2012).

c). Les voies pénétrantes

Dans le cadre de l'aération du tissu urbain et solutionner le problème du trafic urbain un ensemble de pénétrantes a été réalisé parmi lesquelles on cite :

- P1 à double voie : Route D'Alger, (Voie d'évitement).
- P4de longueur 1500m.
- P5.....de longueur 1100m.
- P6.....de longueur 1300m.
- P7.....de longueur 800m.
- P8.....de longueur 400m.
- P9.....de longueur 500m.
- P10 à double voie : Sonatiba–Antenne .P.C.
- Voie Teffah : de longueur 700m et d'une largeur moyenne de 11m, (L'APC, 2012).

d). Capacité de saturation des voies

La capacité de saturation des voies est illustré dan le tableau 6

Tableau 6: Capacité de saturation des routes nationales et des chemins de wilaya accédant à Tiaret ville.

| ROUTE | Trafic (TJMA) | Largeur chaussée | Nombre de voie |
|-------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| RN 23 Côte Nord | 7550V/J | 7M | 2 |
| RN 23 Côte Sud | 5000 V/J | 7M | 2 |
| RN 14 vers Frenda | 6250V/J | 7M | 2 |
| RN 14 vers Alger | 6900V/J | 7M | 2 |
| RN 90 Côte Nord | 2500V/J | 7M | 2 |
| RN 90 Côte Sud | 2000 V/J | 7M | 2 |
| RN 91 | 1200 V/J | 7M | 2 |
| CW 07 | 6950 V/J | 7M | 4 |
| CW 11 | 1300 V/J | 7M | 2 |

Source (DTP, 2012)

L'examen du tableau montre que la majorité des routes ont une capacité de saturation en voiture très importante.

e) . L'importance du trafic routier

La commune de Tiaret est actuellement génératrice d'un trafic routier très important et permanent de par l'importance du bipôle industriel Tiaret - Bouchekif qui nécessite une circulation intense pour les approvisionnements en matière première qui provient d'autres Wilaya (Oran, Mostaganem,...) et de par sa position géographique qui fait de Tiaret un centre de liaison important entre plusieurs Wilayas est une zone de contact entre le nord et le sud du pays.



Fig.6 : Le réseau routier de la ville de Tiaret (Google Mapp, 2012).

f). Stockage et distribution de carburants

. Capacité de stockage (IID) installation intégrée de distribution

Essence super4900 m³.

Essence normal..... 9000 m³.

Gasoil..... 21670 m³ (Naftal, 2012).

➤ **Réseau de distribution carburant**

Trois types de stations sont présents dans la ville de Tiaret.

- ✓ Station PVA (Points de vente agréés) ;
- ✓ Station GD (gestion directe) ;
- ✓ Station GL (gestion libre).

Tableau 7 : stations-services de la ville de Tiaret et leurs capacités de stockage.

| | | <i>Capacité de stockage (milliers de litres)</i> | | | | |
|------------------|------------------|--------------------------------------------------|--------|---------|--------|-----|
| <i>Station</i> | <i>Endroit</i> | Super | Normal | Sans Pb | Gasoil | GPL |
| MokhtariBoufateh | Neuvième | 10 | 20 | - | 40 | - |
| Si Merabet Med | Neuvième | 10 | 20 | - | 40 | - |
| Mokhtari Abed | Madarssa | 10 | 20 | - | 50 | - |
| KerdjouBensaada | Regina | 10 | 20 | - | 40 | - |
| Adda Adda | Regina | 10 | 40 | - | 50 | - |
| EURL Ledjdar | Route Frenda | 10 | - | 20 | 30 | 20 |
| SARL Merah | Route Ain guesma | 10 | 20 | - | - | - |
| Kerdjou Rachid | Route Sougueur | 30 | 50 | 20 | 60 | 20 |
| GBS | Route d'Alger | 30 | 40 | 20 | 80 | 20 |
| GD Tiaret | Route d'Alger | Travaux | | | | |

Source (Naftal, 2012).

2.3. Le parc automobile de la wilaya de Tiaret

Le parc automobile de la wilaya est constitué de 126 727 véhicules, tous types confondus. Le parc de la wilaya de Tiaret est fortement hétérogène du fait de la variété des véhicules qui le constituent (véhicules particuliers ou utilitaire, essence ou diesel, récents ou âgés ...) sur ce total les voitures neuves (0 à 05 ans) ne représentent que 5 % en revanche, les voitures de plus de 11 ans représentent 95 %. (Service de la wilaya, 2012)

Malgré le grand nombre des véhicules constituant le parc, les $\frac{3}{4}$ sont âgés de plus de 15 ans, ce facteur augmente les possibilités d'émissions de polluants. (Maatoug, 2007).

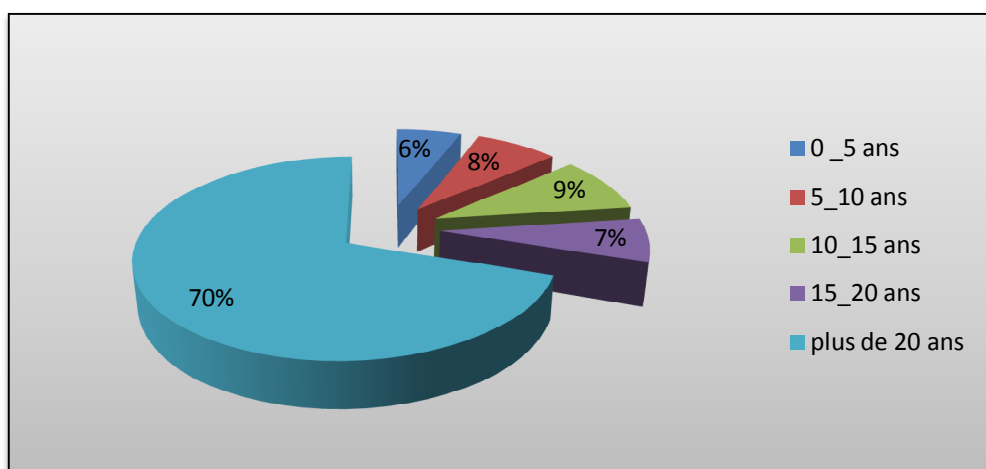


Fig.7: Répartition du parc automobile de la wilaya de Tiaret selon les classes d'âges (service de wilaya de Tiaret, 2012).

2.4. Le parc automobile de la commune de Tiaret

Selon le service des cartes grises de la daïra de Tiaret, le parc automobile de la commune de Tiaret est constitué de 31178 véhicules tous types confondus dont 19756 sont à essence et 11422 véhicules sont Gasoil.

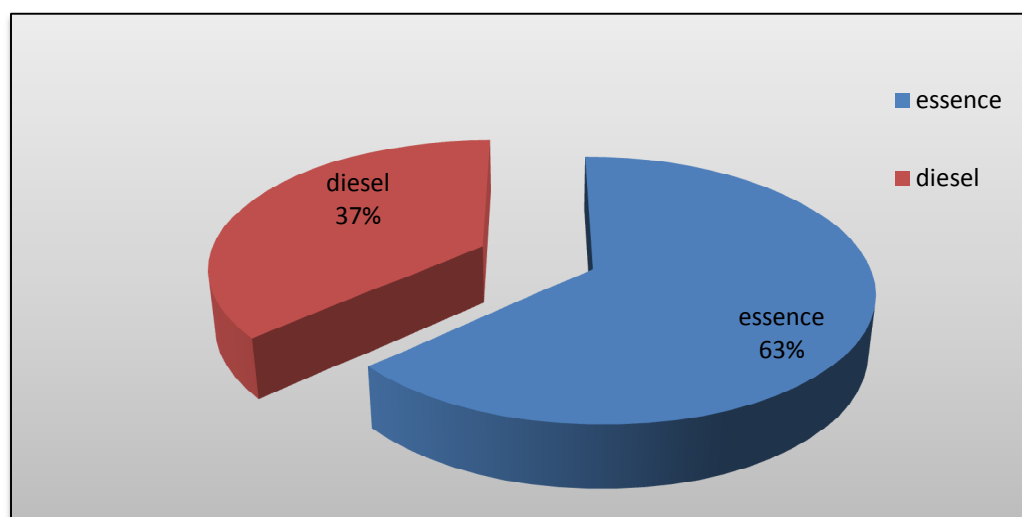


Fig.8: Répartition du parc automobile de la commune de Tiaret selon le type de carburant. (Services des cartes grises de la daïra de Tiaret, 2012).

3. Répartition de la population

L'étude de la distribution de la population est très importante, par les phénomènes qu'elle traduit, par les conséquences qu'elle implique, parce que la quantification des hommes et leur distribution apprennent beaucoup sur l'espace et sur la façon dont il est utilisé. Dans la commune de Tiaret, les unités spatiales dans lesquelles ont été collectés les chiffres de populations se répartissent selon trois cadres spatiaux.

- ✓ L'Agglomération Chef-lieu
- ✓ Les Agglomérations Secondaires (Karman, Ain Mesbah, Senia)
- ✓ La Zone Eparsée (Services wilaya, 2012).

La Population de la commune de Tiaret a connu une forte croissance depuis l'année 1966 à 2012 comme il indique le tableau 8.

Tableau 8: Evolution de la population communale de Tiaret de 1966 à 2012 .

| Année | Nombre d'habitants |
|-------|--------------------|
| 1966 | 37168 |
| 1987 | 145471 |
| 2008 | 172 850 |
| 2011 | 213 551 |
| 2012 | 218155 |

Source (Services wilaya, 2012).

N/B : Le nombre d'habitants d'ici l'an 2015 est estimé à 231155 habitants avec un taux d'accroissement de 2%.

Cette forte croissance démographique et d'autant plus contraignante qu'elle se concentre dans le centre urbain de Tiaret ou la saturation des moyens d'accueils en matières de logements, équipements socio éducatifs, économiques et d'emplois est nette.

4. Etude climatique

La région est caractérisée par sa position géographique et la diversité de son relief, sur le plan climatologique, la wilaya traverse au cours de l'année deux périodes principales qui expriment le contraste important sévissant durant l'année à savoir :

- Un hiver rigoureux avec des chutes de neiges fréquentes.
- Un été chaud et très sec.

De cette situation découle des écarts thermiques brusques et importants, induisant des gelés tardives et des siroccos précoces (Mamane, 2008).

4.1. Température

Les températures moyennes mensuelles de la région de Tiaret collectées durant l'année 2012 sont consignées dans la figure 9.

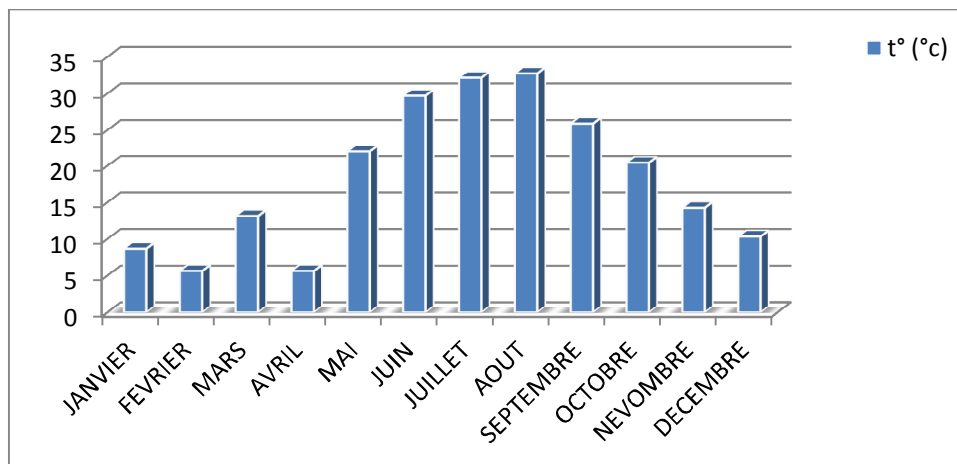


Fig.9 : Les températures moyennes mensuelles de la région de Tiaret pour l'année 2012
(www .TuTiempo.com, 2012)

Les températures moyennes atteignent les valeurs les plus élevées en Juin, Juillet et Aout. Elles atteignent les basses valeurs en Janvier, Février et Avril.

4.2. Pluviométrie

Les Précipitations jouent un rôle très important sur la terre. Elles influent en particulier par ses répartitions et intensités tout au long de l'année (Belabdi, 2008).la figure 10 collectes les précipitations moyennes mensuelles de l'année 2012

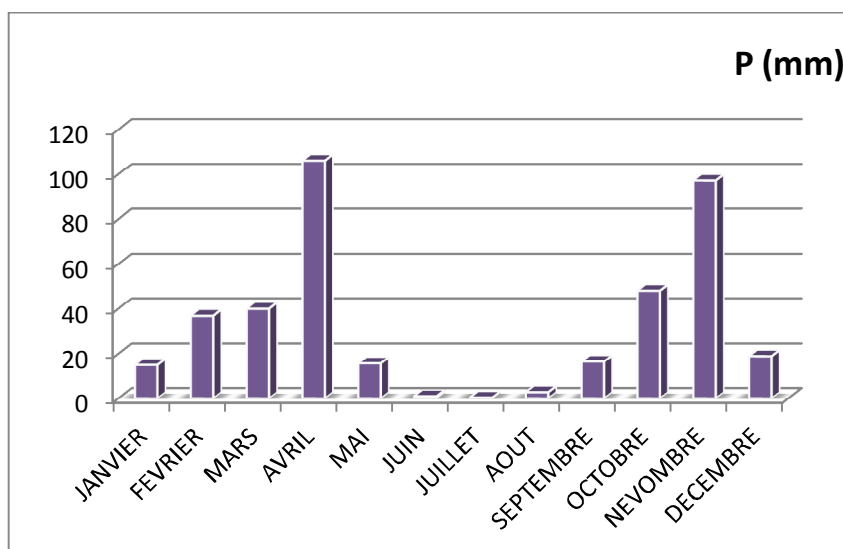


Fig.10 : Les précipitations moyennes mensuelles de la région de Tiaret de l'année 2012 (www .TuTiempo.com, 2012)

La figure 10 révèle que :

- les mois les plus les plus pluvieuses sont : Avril, Novembre et Octobre.
- Les mois les plus chauds sont : Juin, Juillet et Aout.

4.5. Régimes saisonniers

Pour l'année 2012 dont notre étude à été effectuée, nous avons réalisé un tableau de régimes saisonniers.

Tableau 9: Régimes saisonniers de la région de Tiaret durant l'année 2012.

| régimes saisonniers | | | | TYPE | P (mm) annuelles | M (°c) | m (°c) | Q2 |
|---------------------|--------|--------|--------|------|------------------|--------|--------|-------|
| H (mm) | P (mm) | E (mm) | A (mm) | PAHE | 398,00 | 31,53 | 8,23 | 29,86 |
| 70,9 | 161,7 | 3,9 | 161,5 | | | | | |

La lecture de tableau 9 montre, que la saison la plus pluviale est la saison de printemps et que l'été représente la période sèche de l'année avec une température moyenne maximale de 31,53(°c).

D'après le Quotient pluviométrique d'EMBERGER (Q2), nous avons arrivé à figurer l'étage bioclimatique le la région de Tiaret

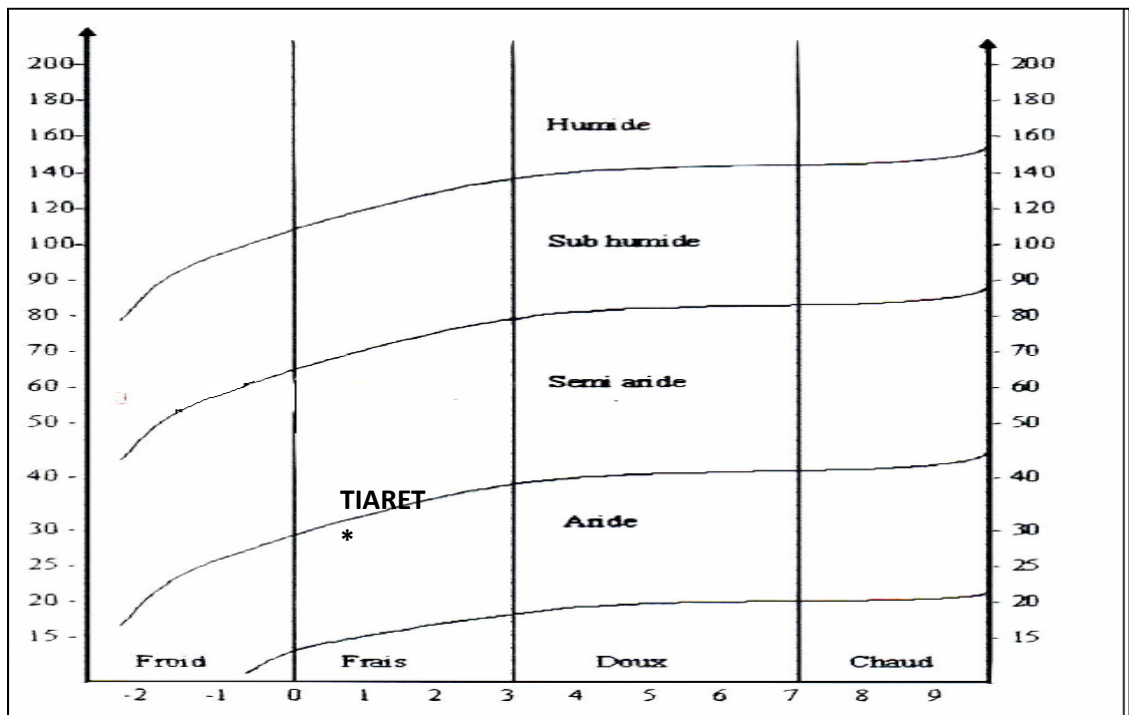


Fig. 11 : Situation de la zone d'étude dans le climagramme d'Emberger. Durant l'année 2012.

Selon la figure nous pouvons classer la région de Tiaret dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais.

4.6. Vent

Le vent est un facteur écologique déterminant caractérisé par sa direction et sa fréquence et son intensité. Il exerce une action sur les variations de températures et d'humidité (Belabdi, 2008).

Le vent possède un régime de déplacement variable en fonction de l'altitude, la pression atmosphérique et les saisons. Les valeurs des vitesses moyennes mensuelles des vents durant l'année 2012 de la région de Tiaret sont illustrés dans la figure suivante .

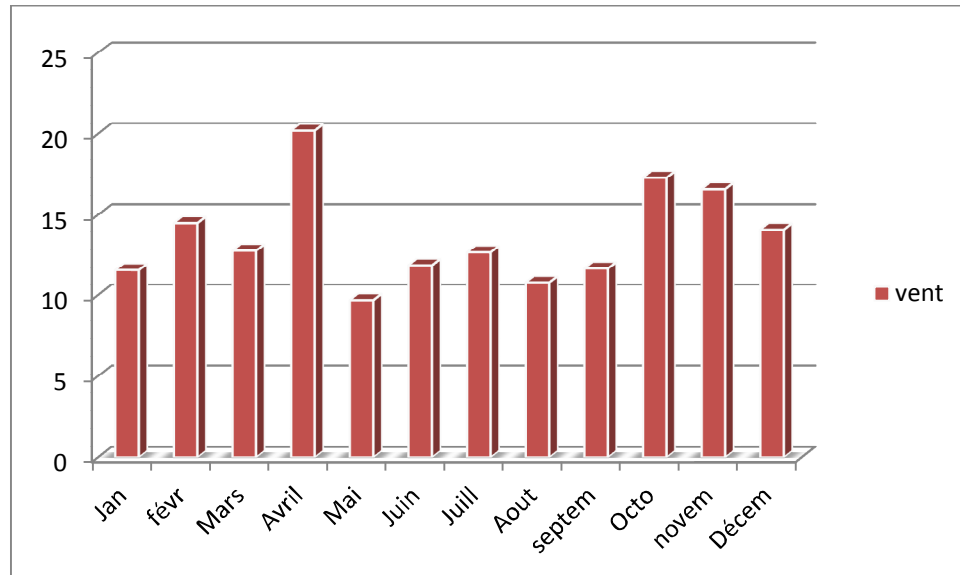


Fig.12 : Les vitesses moyennes mensuelles des vents de la région de Tiaret durant l'année 2012 (www .TuTiempo.com, 2012).

La figure 12 montre que les vitesses du vent les très importantes sont enregistrées dans le mois de Avril, Octobre et Novembre.

Le mois de Mai représente les valeurs les moins faibles des vitesses des vents de l'année.

4.7. Neige

Elle constitue aussi un facteur écologique de toute première importance dans les milieux subpolaire et montagnards. Elle exerce des actions biologiques variées, de nature thermique et mécanique. La couverture neigeuse par ses propriétés isolantes protège efficacement du froid les végétaux et les animaux enfus sous cette dernière (Ramade, 2003).

En se référant à la station de Ain Bouchekif, la neige tombe surtout en hivers, avec une moyenne de 10 jours /an.

4.8. Gelées

Gelées blanches sont très caractéristiques des hauts plateaux, le nombre moyen de jours annuel est de 34 jours ; le maximum est enregistré dans le mois de Janvier (supérieur à 10 jours).

4.9. Humidité

L'appréciation de ce facteur est traduite par l'humidité ou l'état hygrométrique exprimé en pourcentage elle indique que l'état de l'atmosphère est plus ou moins proche de la condensation.

Au niveau de notre zone d'étude, elle est relativement faible, les pourcentages les plus élevés sont enregistrés en décembre et janvier (supérieur à 75%) où ils atteignent leurs minimum dans les mois de Juillet et Aout (inférieur à 40 %).

4.10. Brouillard

La région de Tiaret est entourée par des montagnes favorisant l'apparition des brouillards fréquentés surtout au matin.

II. Mise en place du matériel expérimental

Transplantation lichénique

1.1. Le choix des sites de transplantation

Nous avons choisi 33 sites, parmi lesquels, les endroits à forte circulation automobile, qui sont spécialement les ronds-points, les carrefours et la périphérie de la ville et aussi les agglomérations pour la transplantation des thalles lichéniques.

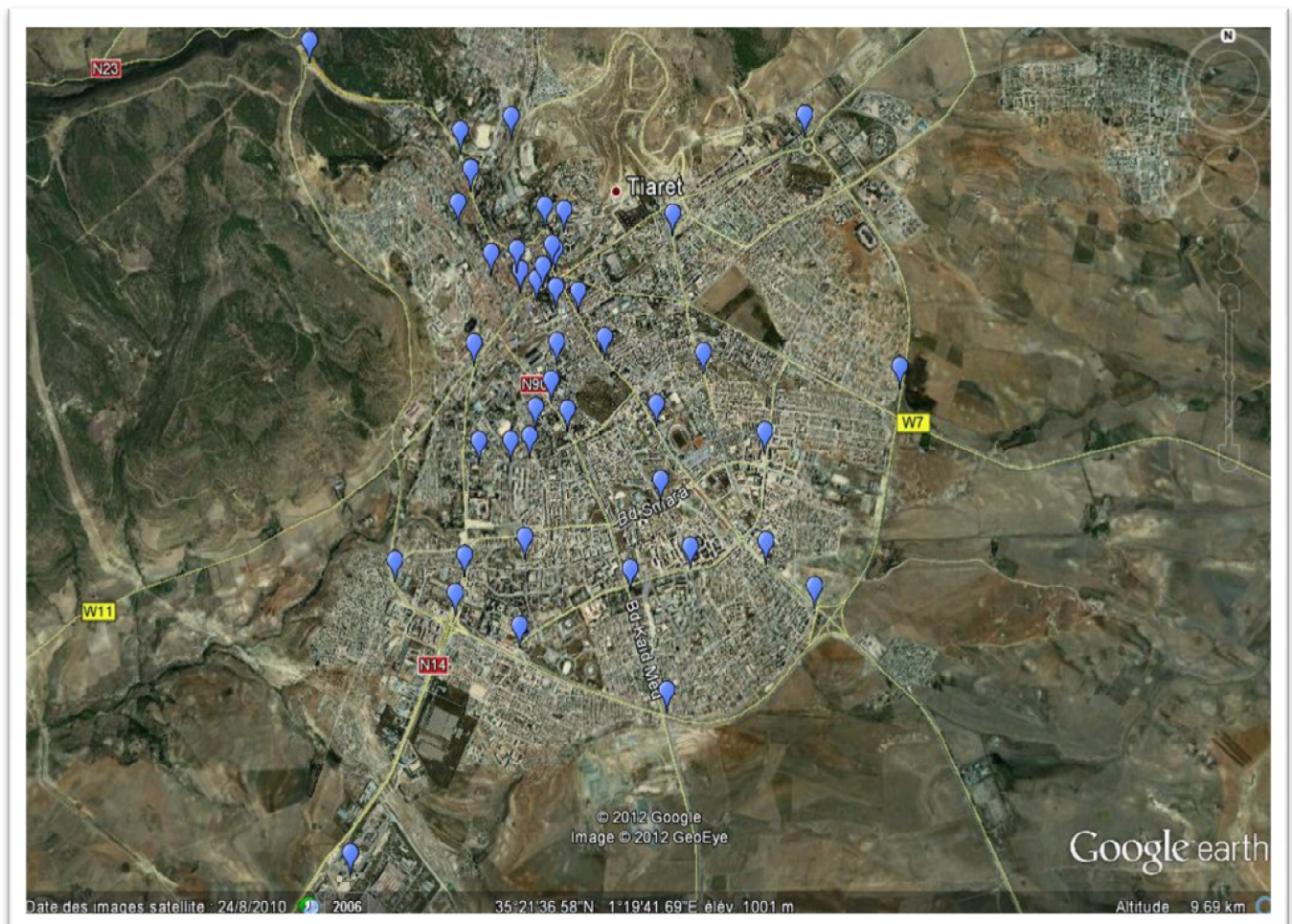


Fig.13: Localisation des sites de transplantation dans la ville de Tiaret (à l'aide de Google Earth, 2012).

1.2. Technique de transplantation

La technique de « transplants de lichens » mise au point par (Brodo, 1961) et pratiquée par d'autres lichénologues comme (Le blanc et *al*, 1971); (NASH, 1971); (Stringer, 1974) consiste à prélever des échantillons dans une station de référence non contaminée et à les installer dans le site à étudier. Cette technique est d'un intérêt certain lorsque la flore lichénique est absente du site d'étude. Il est important que les lichens subissent le moins de perturbations possibles au cours du prélèvement et, pour cette raison, nous prélevons généralement le lichen avec son support (fragment d'écorce ou branche).

La technique des transplantations, déjà largement répandue dans les études de bioaccumulation. (Cuny, 2002)

On a greffé des disques d'écorce et des morceaux de branches supportant *Xanthoria parietina* sur les arbres, ces arbres sont situés à proximité des routes, la distance entre l'arbre et la source de pollution (les véhicules) est comprise entre 01 et 03 mètres.

Nous avons fait des transplantations durant toute l'année 2012 c'est-à-dire une transplantation saisonnière.

La première transplantation a eu lieu le 01/01/2012 sur les 33 sites choisis, elle a duré jusqu'au 30/03/2012, la deuxième de 30/03/2012 jusqu'au 30/06/2012, la troisième de 30/06/2012 jusqu'au 01/09/2012, la quatrième de 01/09/2012 jusqu'au 30/12/2012. Les échantillons transplantés ont été récoltés dans des régions non contaminées, à savoir la cédraie du parc national de Theniet el Had, située à 120 Km du Nord de Tiaret, dont les conditions écologiques sont semblables que possibles.



Fig.14 : Image d'un lichen transplanté sur un tronc d'arbre (Cliché SOUDANI, 2012).

3. Détermination des teneurs en NO_x par spectroscopie IR

Au laboratoire, nous avons séparé les thalles lichéniques des écorces à l'aide d'un sécateur, les échantillons étaient placés rigoureusement dans des sacs en papier portants les codes des sites. Puis, nous avons passé au broyage à l'aide d'un broyeur manuel.

3.1 Préparation des pastilles

Il est nécessaire d'effectuer les étapes suivantes dans une pièce à humidité basse.

- 1) Préparer la poudre de KBr ;
- 2) Peser 0,09 g de KBr ;
- 3) Peser 0,01 g d'échantillon ;
- 4) Mélanger le KBr avec l'échantillon ;
- 5) Mettre le cylindre portoir en place, parsemer le mélange doucement et l'aplanir puis recouvrir avec le cylindre bouchon ; poser le châssis pardessus ;
- 6) Replacer cet assemblage dans la presse et broncher le tube en caoutchouc de la pompe d'évacuation ;
- 7) Abaisser le piston avec, mettre une pression de 9 tonnes puis la maintenir ainsi, mettre la pompe d'évacuation en marche ;

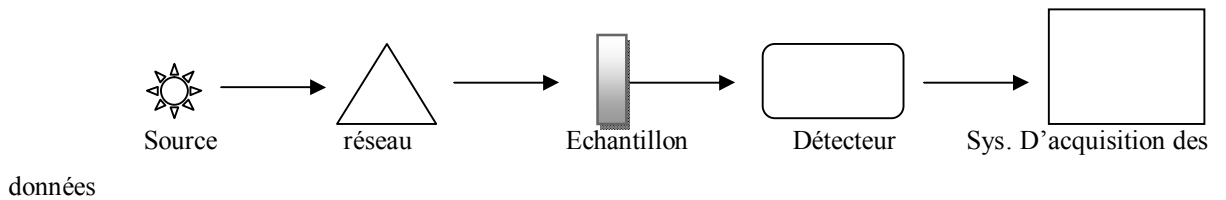
- 8) Eteindre la pompe d'évacuation et remonter le piston ;
- 9) Retirer la pastille avec le dispositif correspondant.

3.2. Principe

La spectroscopie IR est basée sur l'absorption de radiations lumineuses par la matière. Le principe de fonctionnement peut être décomposé comme suit :

- Le faisceau lumineux issu d'une source proche IR est envoyé sur un disperser, qui fournit le spectre de cette lumière.
- Après la traversée du disperser, il y a irradiation de l'échantillon à analyser.
- 02 modes possibles : réflexion (totale ou atténuée) ou transmission suivant que le faisceau incident se réfléchit ou traverse l'échantillon.
- Réception du faisceau réfléchi ou transmis sur des capteurs.

Transmission



Réflexion

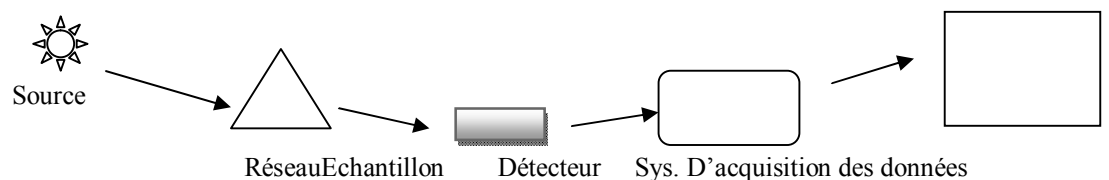


Fig.15 : Principe de fonctionnement d'un spectromètre infrarouge.

Cette méthode d'analyse est simple à mettre en œuvre et non destructrice, elle permet d'analyser aussi bien les matériaux organiques que les matériaux inorganiques. La grande diversité des montages expérimentaux permet la caractérisation de pratiquement tous types d'échantillon, quel que soit leur état physique ou de surface.

Deux logiciels ont été utilisés pour le traitement des données. Nous avons utilisé l'Origine version 8.0 qui servira à la comparaison entre les graphes des résultats obtenus (figure 16) et celui du témoin, selon la méthode de superposition des graphes (figure 17). En effet, la longueur d'onde distinctive des NOx est 5.26 μm pour NO et de 8.06 μm pour NO₂, correspondant respectivement 1901 cm^{-1} et 1240 cm^{-1} (Gratien, 2008).

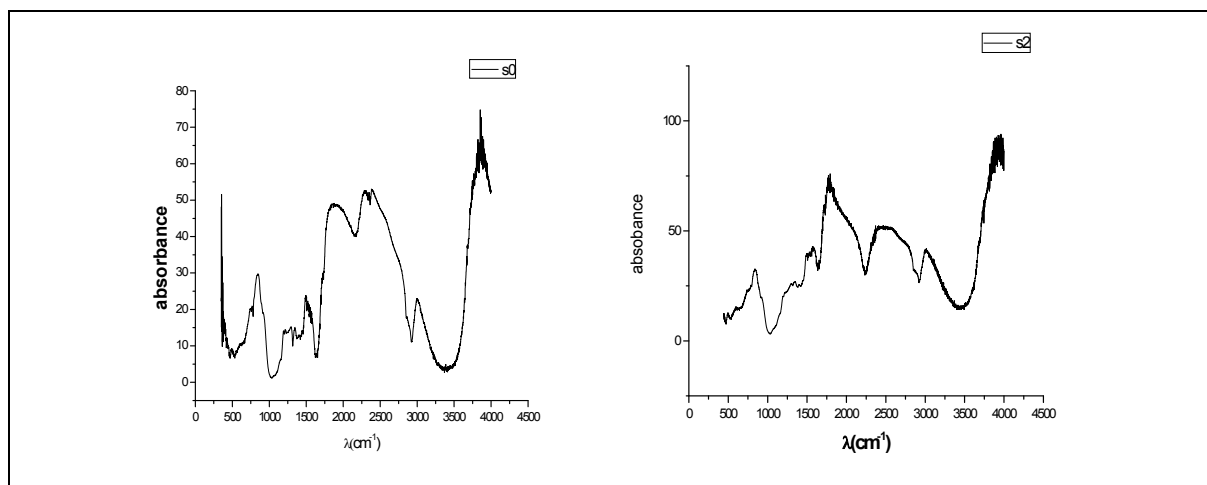


Fig.16: Spectres des échantillons de la station S0 (témoin) et de la station S2 obtenus par l'infrarouge

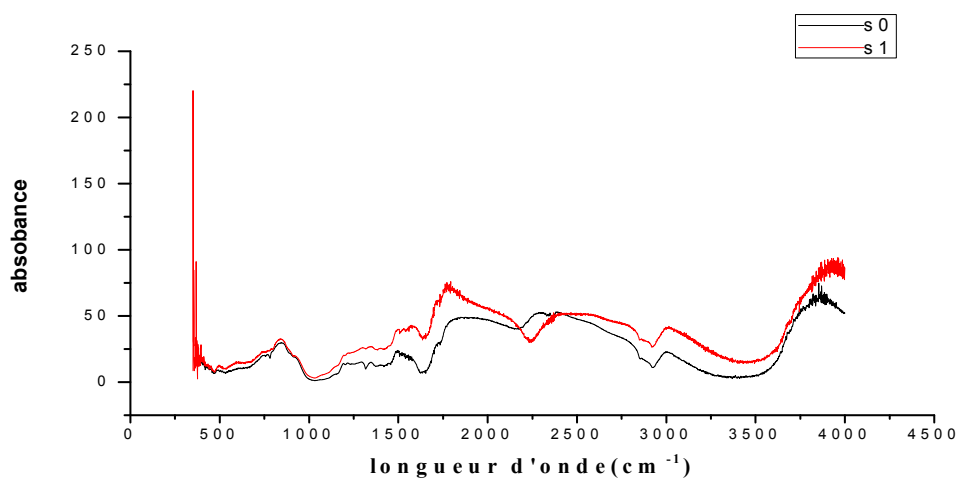


Fig.17: Spectres superposés des échantillons de la station S0 (témoin) et de la station S2 obtenus par l'infrarouge

Le deuxième logiciel *Peakfit* peut servir à la lecture de différence de surface entre le graphe de l'échantillon et celui du témoin; cette différence de surface représente les teneurs en NOx accumulées par le lichen.

Chapitre *II*

*R*ésultats et discussions

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

L'examen du tableau 10 montre que les teneurs en NO_x dans la classe 1 et la classe 2 sont en moyenne très proches de $32,07 \pm 2,22\%$, $29,09 \pm 4,94\%$ respectivement ; ces valeurs dépassent largement la valeur de témoin. La moyenne la plus faible est enregistrée dans la classe 3 ($5,22 \pm 2,14\%$), elle dépasse également la valeur témoin.

Les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans la classe 1 avec un maximum de 34,10%. Les sites où les émissions des NO_x sont relativement similaires aux sites de la première classe sont regroupées dans la classe 2 avec une valeur maximale de 35,00%. La classe 3 regroupe des teneurs très faibles que les classes précédentes, avec un maximum de 10,00%.

1.3. Réalisation et la lecture de la carte

➤ Réalisation de la carte

La cartographie de la pollution au NO_x, de la ville de Tiaret, a été réalisée par la méthode automatique, interpolation par triangulation ; il s'agit d'une méthode cartographique permettant le traitement numérique des données et leur classification en classes distinctes. Les données sont issues de prélèvements à partir de sites d'observation répartis dans l'ensemble de la ville connaissant la mesure de concentration de polluants au niveau de chaque point, à l'aide de module vertical mapper sous logiciel MapInfo, les coordonnées géographiques, de chaque observation, ont été obtenues par un GPS.

Nous avons obtenu finalement un fichier de 33 lectures de chaque saison, avec les coordonnées (x,y,z), z étant la concentration en pourcentage des oxydes d'azote dans le site. Le détail de cette cartographie est illustré dans la figure pour la saison hivernale, en tenant compte des résultats obtenus par la classification automatique.

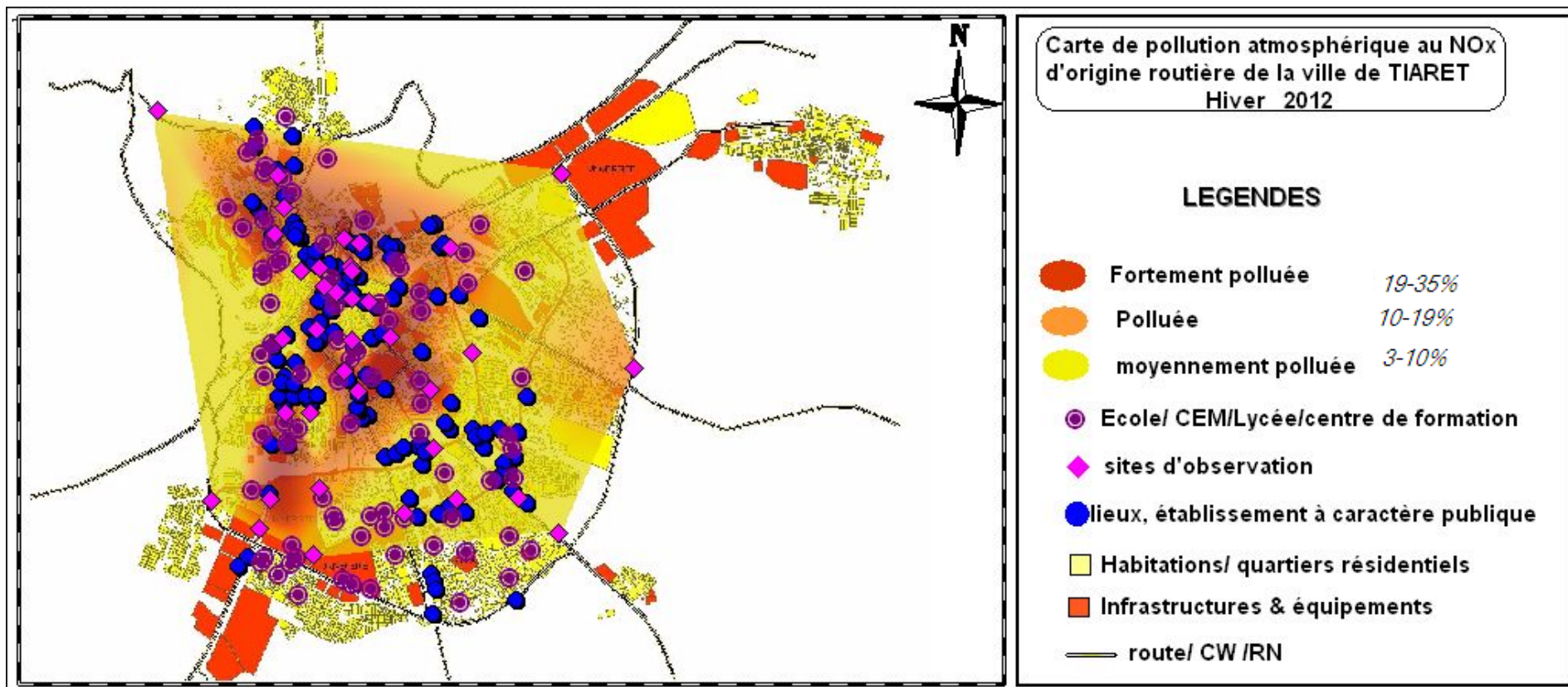


Fig.19 : Carte de pollution aux NOx d'origine routière pour l'hiver de la ville de Tiaret année 2012

➤ Lecture de la carte

En examinant la figure 19, on peut définir 3 classes de pollution. Les très fortes teneurs d'oxydes d'azote sont retrouvées dans la classe 1, indiquées par une couleur rouge. Dans cette classe les sites représentent 45% dans la totalité des stations dont les plus connus dans le nord : Lombard, Ras Soug, Blassa avec le taux le plus élevé qui est de l'ordre 35,10%; au centre, nous trouvons la Gare, Madarssa, et au sud, nous avons Station Kerdjou, la cité Volani. il est important de signaler que un nombre remarquable des établissements scolaires, des complexes sportifs et des hôpitaux des écoles sont localisé aux voisinage de ces sites.

Des concentrations fortes ont été également observées au niveau de la classe 2, qui regroupe les sites possédant la sphère orange soit 12% de l'ensemble des stations, respectivement les sites suivants : R.P Algérie Télécom, Cité Roussou.

La classe 3 représente les teneurs moyennement forts par rapport aux autres classes avec un taux important de stations environ 40%, regroupant notamment R.P Zaourara, Ouad tolba.

2. Classe de pollution de la Saison Printanière

La classification automatique de la saison Printanière a permis d'individualiser 3 classes de pollution. Les résultats de la classification sont illustrés dans la figure 20

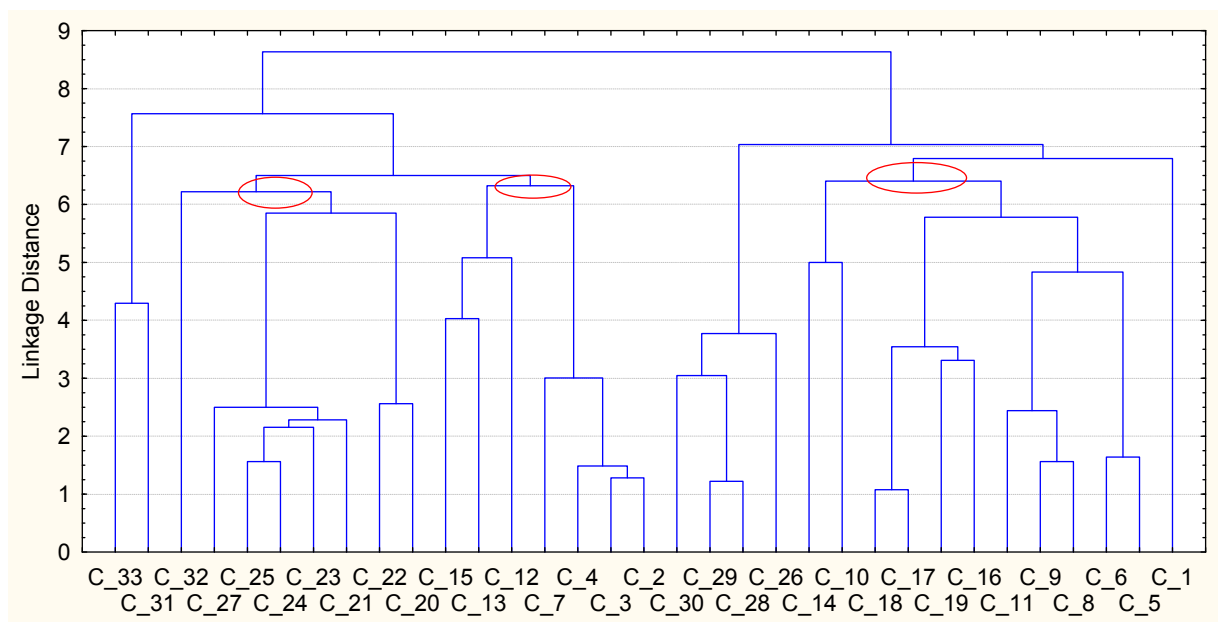


Fig.20 : Classification automatique des teneurs en NOx pour la saison Printanière

2.1. Teneur en NO_x des classes de pollution

Les teneurs des NO_x accumulées, sont représentées dans le tableau 11, sous forme de classes de pollution définies par la classification automatique.

Tableau. 11: Statistique descriptive des différentes classes de pollution au NO_x pour le Printemps

| | N | Moy | Median | Minimum | Maximum | 1Q | 3Q | Ecart typ | Coef.Var. |
|-----------------|----|-------|--------|---------|---------|-------|-------|-----------|-----------|
| classe 1 | 11 | 27,78 | 28,600 | 18,00 | 33,00 | 25,00 | 31,90 | 4,83 | 17,40 |
| classe 2 | 8 | 5,50 | 4,05 | 1,90 | 11,00 | 2,850 | 8,65 | 3,43 | 62,42 |
| classe 3 | 7 | 4,61 | 4,00 | 2,00 | 9,60 | 3,100 | 5,50 | 2,44 | 52,95 |

L'examen du tableau 11 montre que les teneurs en NO_x dans les trois classes sont en moyenne de $27,78 \pm 4,83\%$, $5,50 \pm 3,43\%$, $4,61 \pm 2,04\%$ respectivement ; ces valeurs dépassent la valeur de témoin qui est de l'ordre de 1,03%.

Les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans la classe 1 avec un maximum de 33,00%. Les sites où les émissions des NO_x sont relativement moins importantes que les sites de la première classe sont regroupées dans la classe 2 avec une valeur maximale de 11,00%, la classe 3 regroupe des teneurs de NO_x largement faibles que la première classe, mais très proches des valeurs de la classe 2 avec un maximum de 9,60%.

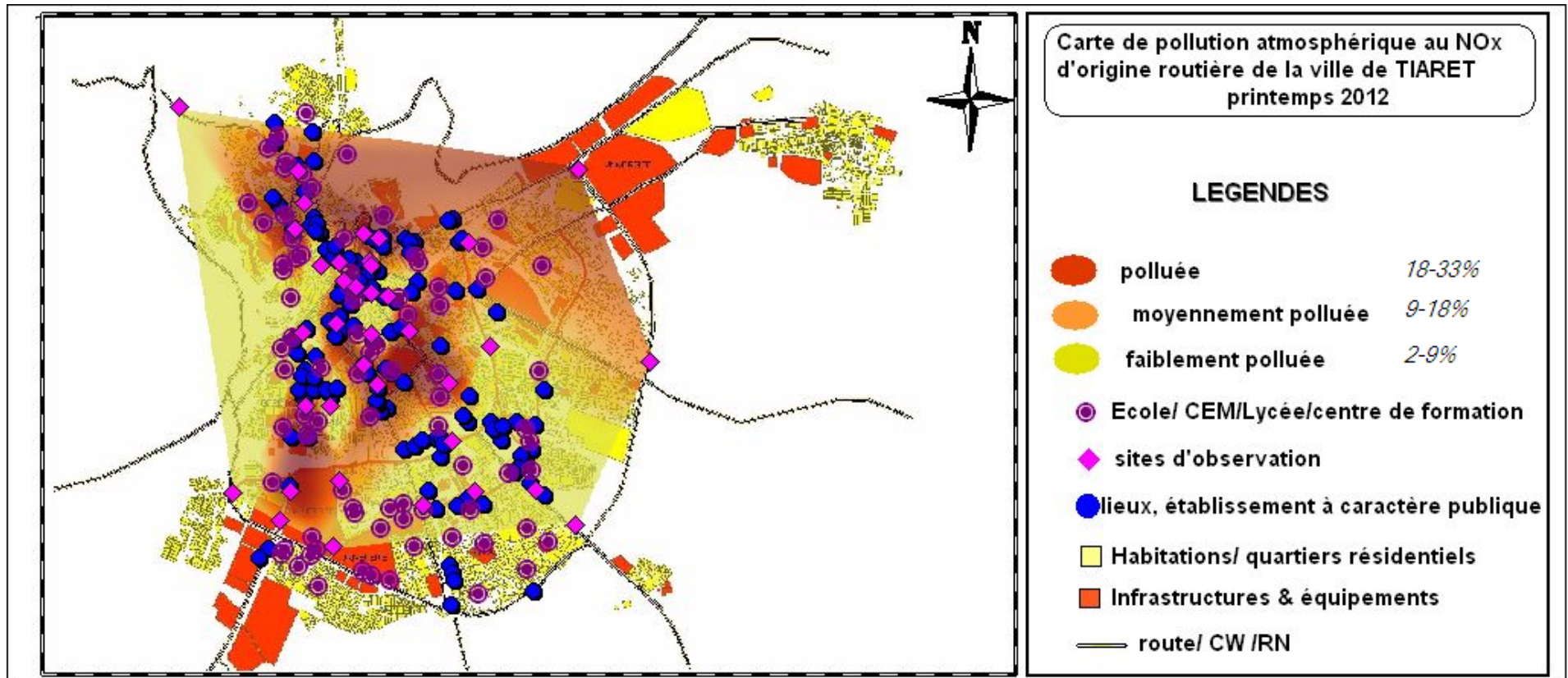


Fig.21 : Carte de pollution aux NOx d'origine routière pour le printemps de la ville de Tiaret année 2012

2.2. Lecture de la carte

Nous constatons dans la figure 21, que les teneurs en NO_x dans les stations de la classe 1, regroupe principalement le centre ville est 6 fois supérieurs à celles de la classe 3 où les sites périphérique sont fréquentés.

La classe 1 est indiquée par une couleur rouge, regroupe les sites plus connus : Lombard, Ras Soug, Blassa avec le taux le plus élevé qui est de l'ordre 33,00%; la Gare, Madarssa, 40 Logement, la cité Volani.

La couleur orange représente les stations qui sont regroupés dans la classe 2, avec des teneurs importantes. R.P Algérie Télécom, Cité Rousseau ont été également observées au niveau de cette classe.

Dans la classe 3 ou des valeurs moyennement importantes ont été observées nous trouvons des stations inclus dans la zone jaune, notamment : Oued Tolba, Marché du gros et le Rondpoint de Garetoufa.

3. Classes de pollution de la saison Estivale

La classification automatique de la saison estivale a permis d'individualiser 3 classes de pollution. Les résultats de la classification sont illustrés dans la figure 22.

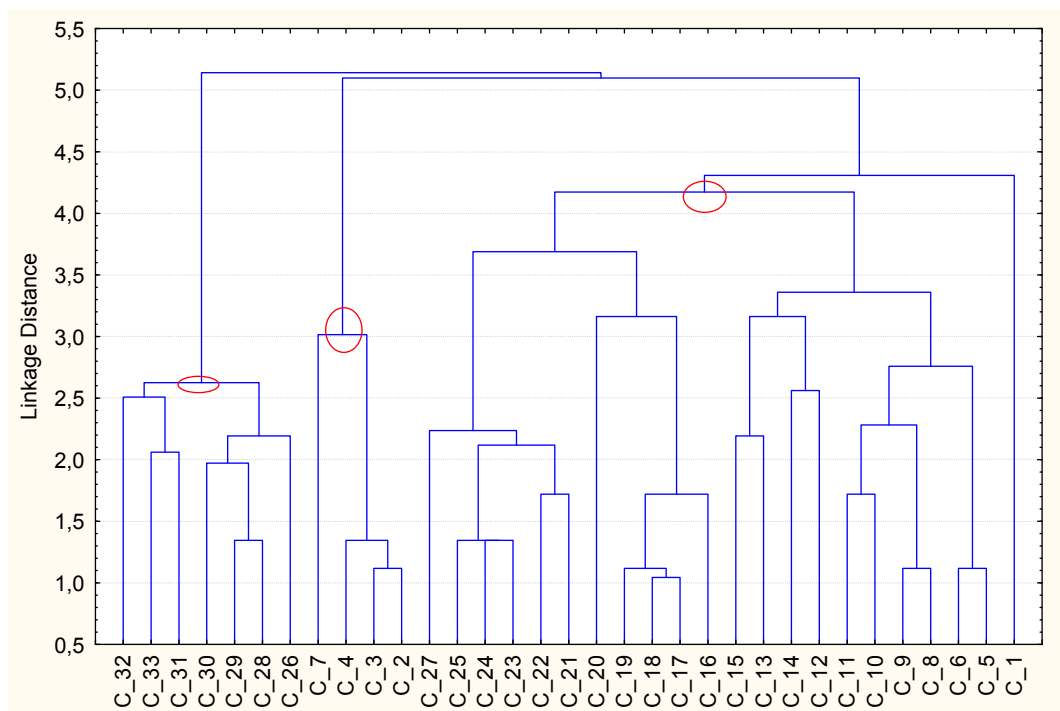


Fig.22: classification automatique de la saison estivale

3.1. Teneur en NO_x des classes de pollution

Les concentrations des NO_x, accumulées par le lichen *Xanthoria parietina*, sont représentées dans le tableau 17, sous forme de classes de pollution définies par la classification automatique.

Tableau.12: Statistique descriptive des différentes classes de pollution en été par les NO_x

| | N | Moy | Median | Minimum | Maximum | 1Q | 3Q | Ecart typ | Coef.Var. |
|-----------------|----|------|--------|---------|---------|------|------|-----------|-----------|
| classe 1 | 25 | 5,71 | 5,70 | 1,20 | 10,00 | 3,30 | 8,80 | 3,03 | 53,152 |
| classe 3 | 4 | 2,00 | 2,05 | 1,50 | 2,40 | 1,75 | 2,25 | 0,37 | 18,70 |
| classe 2 | 9 | 6,28 | 7,40 | 1,10 | 9,80 | 4,10 | 8,20 | 3,14 | 50,04 |

La lecture du tableau 12 permet de constater que les teneurs en NO_x pour l'été (les valeurs moyennes, pour l'ensemble des classes, varient de $2,00 \pm 0,37\%$, à $6,28 \pm 3,14\%$), sont plus élevées que les lichens témoins.

Les fortes concentrations des NO_x sont enregistrées dans la classe 1, la valeur maximale peut atteindre 10%. Cette classe, appelée classe chaude, regroupe les sites les plus pollués. La classe 2, regroupe d'une façon régressive, les sites où les émissions des NO_x sont relativement moins importantes que les sites de la première classe, la valeur maximale est de l'ordre de 9,80%. Les faibles concentrations sont remarquées dans la classe 3 avec une valeur maximale de 2,40%, mais toujours élevées comparativement au témoin.

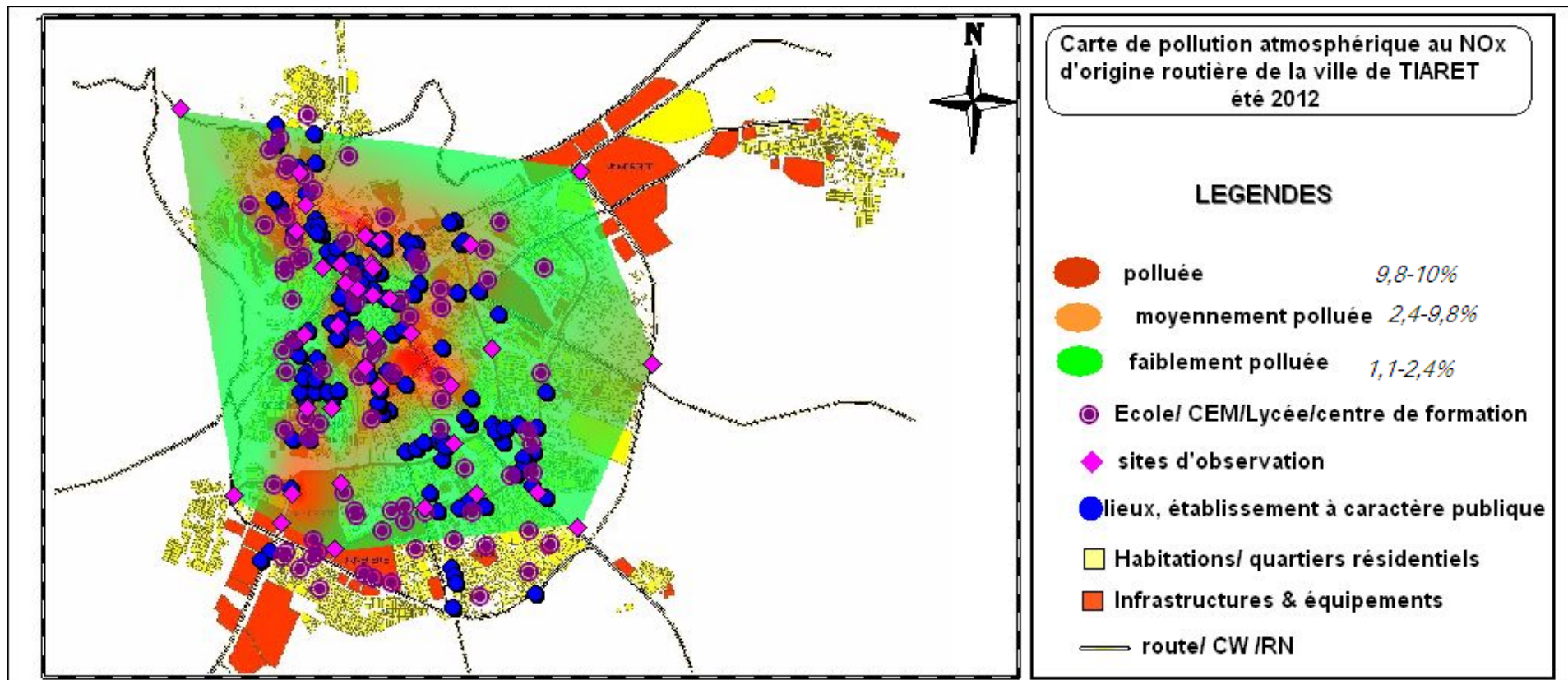


Fig.23 : Carte de pollution aux NOx d'origine routière pour l'été de la ville de Tiaret année 2012

3.2. Lecture de la carte

La figure 23 montre que 67% des stations sont retrouvés dans la sphère orange, qui regroupe les teneurs moyennes aux NOx accumulés de la classe 2. Des valeurs importantes ont été enregistrées dans les sites suivants : Lombard, la Gare, Madarssa, 40 Logement, valeur maximale est observé au niveau de Rass soug avec 9,8%.

Stade, Cité Roussou, R.P Algérie télécom ont été également observées au niveau de cette classe mais avec des teneurs moins faible que les premiers.

Un nombre important de sites a été observé dans la classe 3, soit de 26% de la totalité des stations, représentant des teneurs faibles. On trouve ; Oued Tolba, Marché du gros et le Rondpoint de Garetoufa.

Dans la classe 1 ou des valeurs fortes ont été observées nous trouvons le restes des stations indiquées par une couleur rouge, notamment : Blassa avec la valeur la plus élevé dans l'ensemble des stations figurés soit de 10%.

4. Classes de pollution de la saison Automnale

La classification automatique de la saison Automnal a permis de nouveau d'individualiser 3 classes de pollution. Les résultats de la classification sont illustrés dans la figure 24.

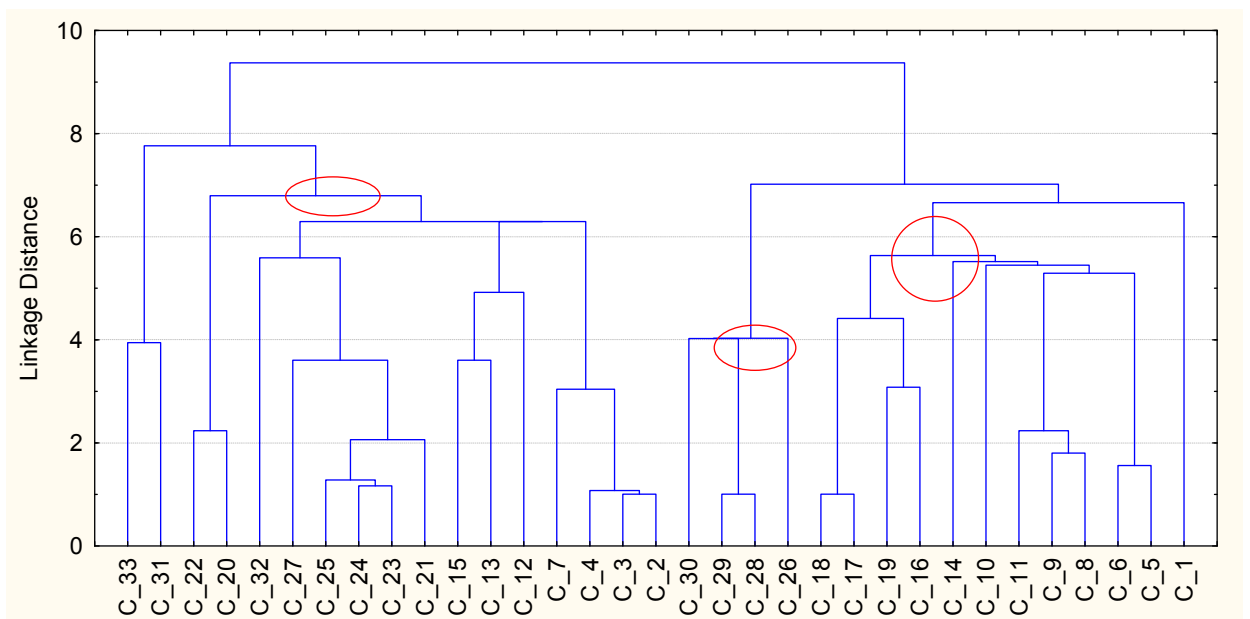


Fig.24 : classification automatique de la saison Automnale

4.1. Teneur en NO_x des classes de pollution

Les teneurs des NO_x accumulées, sont représentées dans le tableau, sous forme de classes de pollution définies par la classification automatique.

Tableau.13 : Statistique descriptive des différentes classes de pollution au NO_x pour l'automne.

| | N | Moy | Median | Minimum | Maximum | 1Q | 3Q | Ecart typ | Coef.Var. |
|-----------------|----|-------|--------|---------|---------|-------|-------|-----------|-----------|
| classe 1 | 4 | 31,90 | 31,80 | 30,00 | 34,00 | 30,05 | 33,75 | 2,14 | 6,72 |
| classe 2 | 11 | 29,01 | 29,70 | 19,20 | 34,70 | 25,50 | 33,10 | 4,91 | 16,92 |
| classe 3 | 15 | 5,99 | 4,40 | 3,00 | 12,00 | 4,00 | 8,90 | 2,98 | 49,76 |

La lecture du tableau 13 permet de constater que les teneurs en NO_x pour l'Automne (les valeurs moyennes, pour l'ensemble des classes, varient de 5,99±2,98 %, à 31,90 ± 2,14%), sont plus élevées que les lichens témoins.

Les fortes teneurs des NO_x sont enregistrées dans la classe 1, la valeur maximale peut atteindre 34,00%. Cette classe, appelée classe chaude, regroupe les sites les plus pollués. La classe 2, regroupe d'une façon remarquable, les sites ou les teneurs des NO_x sont proche des sites de la première classe, la valeur maximale est de l'ordre de 34,70%. Les faibles concentrations sont remarquées dans la classe 3 avec une valeur maximal de 12,00%, mais toujours élevées comparativement au témoin. Cette classe regroupe le reste des stations qui se localisent dans un secteur relativement faible que les sites des classes 1 et 2.

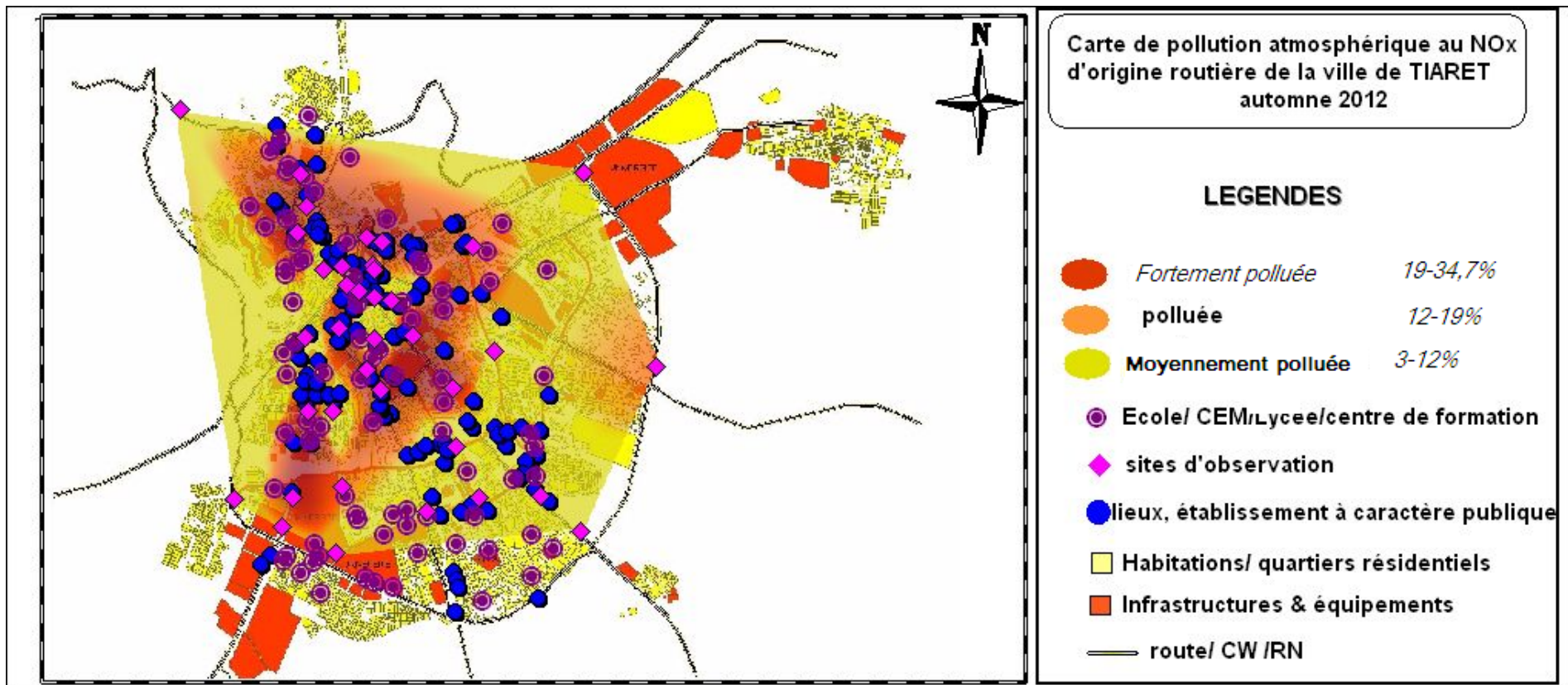


Fig.25 : Carte de pollution aux NO_x d'origine routière pour l'automne de la ville de Tiaret année 2012

4.2. Lecture de la carte

D'après la lecture des résultats obtenus après modélisation spatiale (figure 25), il est à constater que la classe dominante est celle où les valeurs correspondent à un fort taux de pollution, indiqué par une couleur rouge. Celles-ci se concentrent essentiellement dans les sites ; Lombard, Ras soug, Blassa avec le taux le plus élevé qui est de l'ordre 34,37%, la Gare, Madarssa.

Des concentrations importantes ont été également observées au niveau de la classe 2 qui regroupe les sites qui sont dans la zone orange, respectivement les sites suivants : R.P Algérie Télécom, Cité Rousseau, Algérie Télécom.

Dans la classe 3, des valeurs moyennement fortes ont été observées réparties dans la sphère jaune nous trouvons également le reste des stations, notamment : Oued Tolba, Marché du gros et le Rondpoint de Garetoufa.

5. Teneurs en NO_x pour l'ensemble de saisons et de stations

5.1. Teneurs en NO_x en fonction des saisons

Les teneurs des NO_x accumulées dans chaque saison, sont représentées dans la figure 26.

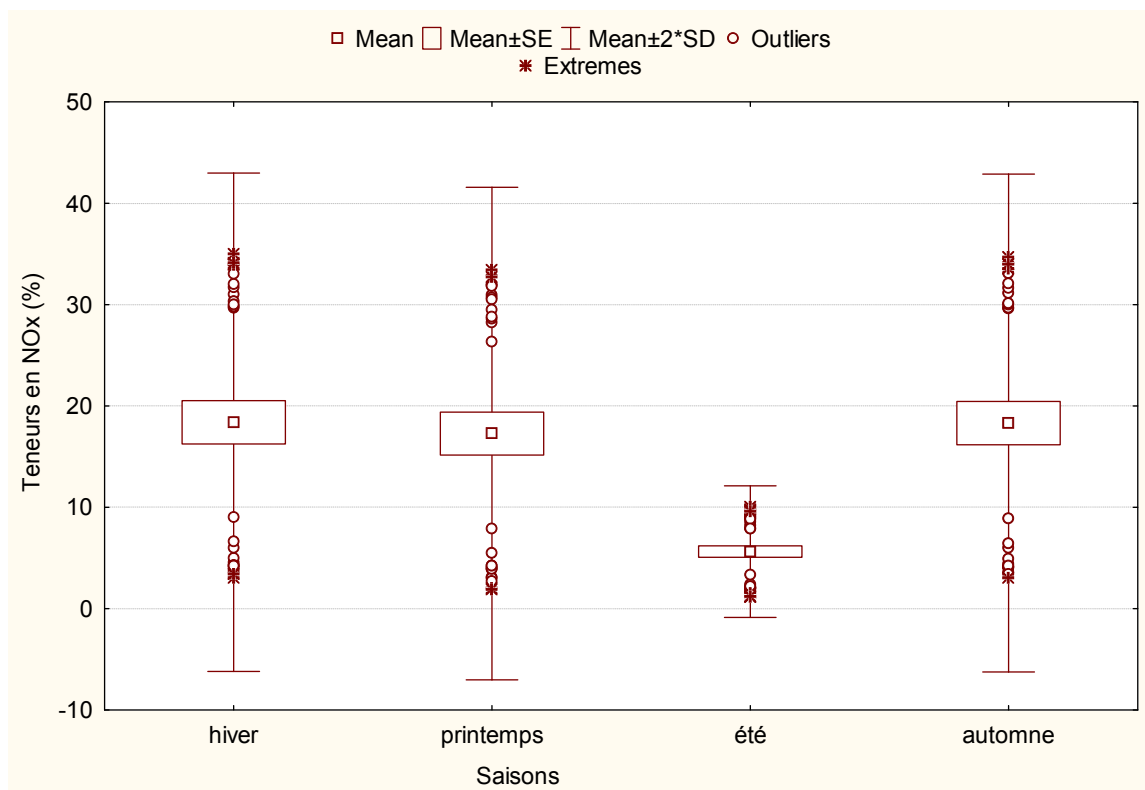


Fig.26 : Teneurs en NO_x (%) en fonction des de saisons

L'analyse de la figure 26 permet de constater que les teneurs en NO_x pour chaque saison (les valeurs moyennes, pour l'ensemble des classes, varient de 5,63 ±3,24%, à 18,39± 12,29%), sont plus élevées que les lichens témoins.

Les fortes teneurs des NO_x sont enregistrées dans la saison Hivernale et Automnal avec des valeurs maximale de 35,00% et 34,70% respectivement. La saison Printanière présente aussi des teneurs importantes de NO_x avec un maximum de 33,40%. L'été occupe la quatrième position avec des teneurs remarquable de valeur maximale 10%.

Les resultats obtenus ont fait aussi un test Anova, dont le but est d'étudier effet saison sur les teneurs en Nox accumulées par *Xanthoria parietina*(tableau 14).

Tableau.14 : Analyse de variance pour l'effet de la saison sur l'accumulation des oxydes d'azote.

| | SS | ddl | MS | F | p |
|--------|----------|-----|----------|-------|---------------------|
| Saison | 41087,55 | 4 | 10271,89 | 69,08 | 0,00 ^{***} |
| Error | 19032,29 | 128 | 148,69 | | |

L'analyse de variance indique un effet très hautement significatif (P = 0.000) de la saison sur l'accumulation des oxydes d'azote.

Ce qui a été remarqué, que pendant toutes les saisons on assistait à des accumulations très importantes du polluant variant d'une saison à l'autre. En effet les lichens sont des végétaux dont l'activité est continue quelle que soit la saison car ils sont capables de réaliser la photosynthèse à des températures inférieures à -10°C. (Garty, 2001). Les lichens ne possèdent pas de racines pour puiser leur nourriture, mais des filaments fixateurs (rhizines) avec lesquels ils s'accrochent à leur support. Dans cette situation, seuls l'air, le vent, la pluie et le brouillard leur apportent les éléments minéraux et l'eau nécessaires à leur croissance. Les lichens absorbent indistinctement, par leurs pseudocyphelles, l'ensemble des substances qui leur parviennent, les substances nutritives tout comme les substances qui leur sont toxiques. Ainsi, dans un environnement où l'air est pollué, les lichens sont particulièrement exposés à la pollution et ils en subissent les effets (diminution de l'activité photosynthétique, modification des voies métaboliques, etc.). (Loppi et al, 2004). C'est la raison pour la quelle qu'il est important de signaler les paramètres météorologiques qui influent l'accumulation, notamment : L'influence du vent sur la pollution atmosphérique est très variable selon la position de la source. Plus le vent est fort, plus les niveaux de pollution seront bas. En revanche, un vent de faible vitesse favorise l'accumulation locale des polluants (Anthony, 2003); L'inversion du gradient thermique

vertical, induit les mêmes conséquences (Diaf et al); Les précipitations sont à mettre en relation avec une atmosphère instable, ce qui permet une bonne dispersion des polluants. De plus, elles peuvent favoriser la dissolution de certains polluants (I.N.S.P, 2007) ; L'humidité est un facteur qui participe à la transformation des polluants primaires émis (P.R.Q.A, 2007). En effet l'Hiver, la réactivité photochimique des polluants est faible. Les polluants primaires, comme les oxydes d'azote (NO_x) peuvent être présents à des concentrations importantes, car les phénomènes météorologiques sont favorables à leur accumulation dans l'atmosphère (absence de dispersion verticale des polluants liée à une inversion de température qui confine les polluants dans les basses couches de l'atmosphère). L'été la réactivité photochimique des polluants est plus importante. La température et le rayonnement solaire plus élevés jouent un rôle déterminant en influençant la vitesse de nombreuses réactions chimiques et favorisent l'apparition de polluants dits « secondaires » dont l'ozone (O₃). (AIRPARIF, 2012).

Dans le but d'étudier l'effet de la saison sur l'accumulation des oxydes d'azote nous avons réalisé une analyse de variance.

Les résultats du test **ANOVA** sont représentés dans le tableau 14

Tableau.14 : Analyse de variance pour l'effet de la saison sur l'accumulation des oxydes d'azote.

| | SS | ddl | MS | F | p |
|---------------|-----------|------------|-----------|----------|---------------------|
| Saison | 41087,55 | 4 | 10271,89 | 69,08 | 0,00 ^{***} |
| Error | 19032,29 | 128 | 148,69 | | |

L'analyse de variance indique un effet très hautement significatif ($P = 0.000$) de la saison sur l'accumulation des oxydes d'azote.

5.2. Teneurs en NO_x en fonction des stations de prélèvement

Les teneurs des NO_x accumulées dans chaque station, sont représentées figure 27.

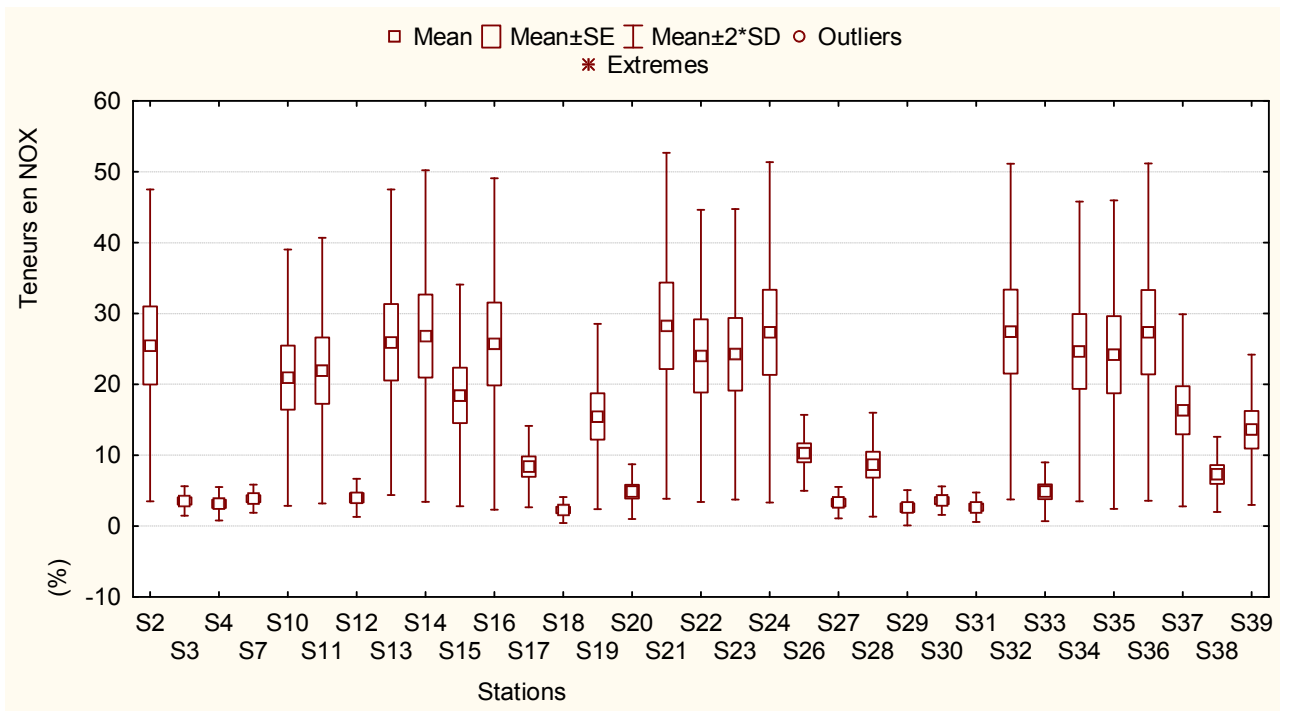


Fig.27: Teneurs en Nox (%) en fonction des stations de prélèvement

La figure 27 montre que les fortes teneurs des oxydes d'azote sont enregistrées également dans les stations **S21**, **S14**, **S24** et **S36** avec des valeurs maximales respectivement de [35% (Blassa) ,33.1%(Madarssa), 34% (Château) 34.1% (La Gare)].

Les valeurs moins fortes sont mentionnées au niveau des stations suivantes [S10 (Cité rousseau) avec 25.5%, S15 (Stade) avec 23%, S19 (R.P Algérie Télécom) et S39 (Naftal) avec des valeurs respectivement de 19.2% et 16.6%.]

Quant aux faibles concentrations des NOx celles-ci sont indiquées au niveau des stations **S38**, **S33**, **S12** et **S18** avec les valeurs suivantes 8.9% pour l'habitat, 6.4% à Oued Tolba, 4.9% pour l'Arrêt d'Alger et 3% pour le Pont Bouchekif.

Ce qui a été remarqué, que toutes les stations enregistrent des teneurs en NOx variant d'une station à l'autre, celle ci due principalement à la pollution automobile (style de véhicule, style de carburant, manière de conduite...etc) (Deletraz, 2002).

De ce fait, la conclusion qu'on peut tirer est que les stations enregistrant des forts pourcentages d'accumulations durant toute les saisons sont celles dites les points chauds, se trouve dans une zone de circulation automobile importante. La majorité

d'elles sont des zones montagneuses fermées affectées d'une pente relativement forte obligeant le moteur à développer plus de puissance, consommer plus de carburant et à rejeter plus de polluants. Elles entraînent donc une augmentation considérable des émissions. (AIRPARIF, 2012).

Pour les zones indiquant un taux moyennement faible d'accumulation, sont des lieux où la circulation est moins importante. Celles-ci sont assez ouvertes favorisant la dispersion des retombées atmosphériques, transportées par le vent et qui ne s'arrêtent par aucun obstacle topographique, ce qui contribue donc à éviter le phénomène d'accumulation localisée de la pollution. Contrairement aux sites fermés où les vents sont arrêtés par des obstacles présentés par une forte densité des constructions, favorisant ainsi l'accumulation locale de polluant. (Diaf *et al*, 2003).

Ces observations ont conduit à distinguer la dégradation de la qualité de l'air et que les retombées atmosphériques du trafic routier constituent, dans ce cas, les principales sources d'oxydes d'azote.

Conclusion

Cette étude a été orientée sur l'estimation des teneurs en NO_x d'origine routière, et d'accéder à une cartographie de concentrations de ce polluant dans la ville de Tiaret. Les NO_x ont été déterminés par spectroscopie infrarouge sur 33 lichens de *Xanthoria parietina*, transplantés dans différentes saisons et différents sites qui sont localisés à proximité des axes routiers et dans les agglomérations de la ville.

La classification automatique, des 33 données, a permis d'individualiser 3 classes de pollution dans chaque saison dont les valeurs moyennes des NO_x varient de $5,63 \pm 3,24\%$ à $18,39 \pm 12,29\%$ et dépassant les valeurs de témoin. Les fortes teneurs des NO_x sont enregistrées dans la saison Hivernale et Automnale avec des valeurs maximales de 35,00% et 34,70% respectivement. La saison Printanière présente aussi des teneurs importantes de NO_x avec un maximum de 33,40%. L'été occupe la quatrième position avec des teneurs faibles avec une valeur maximale de 10%.

Ces résultats permettent de constater que le degré de pollution par les oxydes d'azote, dont le trafic et l'infrastructure routière sont à l'origine d'une source importante en NO_x, est très élevé dans cette ville.

L'ensemble des observations constatées à partir des classes de pollution a fait l'objet d'une cartographie saisonnière des oxydes d'azotes d'origine routière. Dans les classes à fortes valeurs nous retrouvons les sites fermés localisés sur des terrains à pente relativement forte et d'un trafic routier très important, cette situation oblige donc le véhicule à dégager beaucoup de fumées.

C'est dans la classe à faibles teneurs, qu'on trouve les sites les moins pollués, mais toujours dépassant les valeurs du témoin. Ces sites à trafic routier plus ou moins faible, sont également ouverts favorisant la dispersion des polluants atmosphériques.

Cette étude a démontré donc la parfaite adéquation des lichens bio accumulateurs pour la cartographie des différents polluants.

Les lichens peuvent constituer des réseaux de végétaux bio accumulateurs de la pollution atmosphérique, dont l'utilisation se révèle être une méthode particulièrement simple, souple, économique et performante pour établir dans l'espace et dans le temps des cartographies de la pollution. L'identification de la pollution au sein d'organismes sensibles permet également de détecter la dégradation de la qualité de l'air avant que celle-ci n'affecte sévèrement le biotope ou l'homme.

Aujourd'hui, l'usage de véhicules à moteur a considérablement augmenté dans l'Algérie. En effet les véhicules à moteur Diesel sont les principaux émetteurs des oxydes d'azote dans l'atmosphère. (CITEPA, 2001).

Au cours de ces dernières décennies le développement urbain et industriel ont accéléré l'utilisation de véhicules à moteur. Malheureusement, à l'heure actuelle, la pollution atmosphérique générée par le trafic n'est pas prise en compte qu'à travers ces effets sur la santé humaine.

Il est important de signaler qu'un nombre important d'écoles sont localisées dans les points chauds de la ville de Tiaret et constituent un danger pour la santé des élèves. Sur 57 502 élèves, 25 946 sont scolarisés dans des établissements localisés dans les points chauds où le taux des NO_x dans l'air est très élevé (AE Tiaret, 2012). Les jeunes enfants, et plus particulièrement les moins de deux ans et les adolescents, sont plus vulnérables que les adultes aux effets de la pollution atmosphérique car leur métabolisme et leur physiologie sont encore immatures. Des études établies par les médecins de l'OMS ont indiqué que même à des taux relativement faibles, la pollution atmosphérique spécifiquement azotée a un impact sur les enfants qui souffrent d'asthme et d'autres pathologies. D'autres études l'ont montré : vivre dans un quartier à fort trafic, peut induire diverses maladies respiratoires (exacerbation de l'asthme, symptômes respiratoires chroniques, symptômes allergiques, prévalence accrue de la sensibilisation, réduction des fonctions respiratoires, des irritations oculaires et l'augmentation des risques cardiovasculaires). Dans la ville de Tiaret, la majorité de la population est touchée par les maladies déjà citées, selon les statistiques de la direction départementale de la santé (DDS Tiaret, 2012) 35 nouveaux cas d'asthme en moyenne sont enregistrés chaque mois. Le nombre des asthmatiques et de malades ayant des problèmes cardiovasculaires est respectivement 9 852 et 11 562. Or les établissements hospitaliers se localisent dans les points chauds d'après les cartes établies et cela aggrave de plus les cas des malades pris en charge. Le total de lits avoisine les 600.

Cette étude confirme la nécessité de réduire le nombre de voitures et remplacer progressivement le parc automobile actuel par des véhicules moins polluants utilisant par exemple le GPL ou l'électricité et bien sûr renforcer la politique des transports en commun

L'aménagement du territoire, le Plan de Déplacements Urbains et tout projet urbanistique doivent tenir compte désormais de la pollution de l'air illustrée sur ces cartes. Ainsi, pour éviter

par exemple, de construire des établissements scolaires, des complexes sportifs et des hôpitaux à proximité d'une pollution importante.

Cet outil serait certainement une aide pour les études épidémiologiques concernant l'impact de la pollution sur la santé publique ; ajouté à cela une carte détaillée de pollution permettrait d'indiquer les lieux où mener les efforts d'antipollution et elle pourrait être utilisée comme aide pour l'implantation de futures stations de surveillance dans des sites stratégiques. Enfin elle constituerait une information de qualité et facilement compréhensible pour les citoyens.

Références bibliographiques

- ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie), 2010. *La qualité de l'air dans les agglomérations françaises : Bilan 2010 de l'indice ATMO*. 7-9p.
- ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie), 2011. *Transport et carburant*. [En ligne]. ADEME. Disponible sur :

< <http://www2.ademe.fr/servlet/list?catid=13671> > [Consultation : 12/2011].

AIRPARIF (association de surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France), 2012. *Cartographie fine des niveaux de dioxyde d'azote dans le cœur dans de l'agglomération parisienne*. 27-31p.

Amadou, Diouf, 2001. *Pollution automobile et sante*. Laboratoire de chimie analytique et toxicologie, Faculté de médecine et pharmacie, UCAD Dakar, SENEGAL, 31p.

Anthony, UNG, 2003. *cartographie de la pollution atmosphérique en milieu urbain à l'aide des données multi sources*. Thèse DOC : Ecole doctorale « sciences de l'environnement d'Ile de France ». 86-115p.

Atkins, Peter et Jones, Loretta, 1998. *Chimie, Molécules, Matières, Métamorphoses*. Paris : De Boeck : Université. 1018p.

Bron : INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité). 179-184p.

CFBP (Comité Française du Butane et de Propane), 2009. *Le GPL*. Article de conférence n°166. 7p.

CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la pollution atmosphérique), 2011. *La pollution atmosphérique en bref. Sources de pollution*. [En ligne]. CITEPA. Disponible sur :

< <http://www.citepa.org/pollution/sources.htm> > [consultation : 12/2011].

Courtois, Bruno ; Dieblid, François et al, 2005. *Moteur diesel et pollution en espace confiné*. INRS : Cahiers de notes documentaires 201/46. 6p

Degobert, Paul, 1992. *Automobile et pollution*. Paris : Technip. 19-83p.

Deletraz, Gaëlle, 2002. Géographie des risques environnementaux liés aux transports routiers en montagne incidences des émissions d'oxydes d'azote en vallées d'aspe et de Biriadou (Pyrénées). Thèse DOC. Université de Pau et des pays de l'Adour. P

Dupont, Jaques, 2004. *La problématique des lacs acides au Québec*. Bibliothèque Nationale du Québec. 17p.

Durand, Cédric, 2003. Caractérisation physico- chimique des produits de l'assainissement pluvial. Origine et devenir de métaux traces et des polluants organiques. Thèse DOC : Université de Poitiers. 7-9p.

Escourrou, Gisèle, 1996. Transports, contraintes climatiques et pollutions. Paris : SEDES. 172p.

Garrec, JP et Van Haluwyn, 2002. Bio surveillance végétale de la qualité de l'air. Concepts, méthodes et applications. Editions Tec & Doc, Lavoisier. Paris. 118p.

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

Gratien, Aline, 2008. Spectroscopie ultraviolet-visible et infrarouge des molécules clés atmosphériques

Griffond, O, 1993. L'eau et les grandes infrastructures de transport en zone non urbaine. 28 p

Guibet, Jean-Claude, 1997. *Les carburants et la combustion*. Université de Louvain. 9p.

Hautala, L ; Rekila, R et al, 1995. Deposition of motor vehicle emissions and winter maintenance along roadside assessed by Snow analyses. *Environmental Pollution*, vol. 87. 45-49p.

Hopkins William G et Evard Charles-Marie, 2003. *Physiologie Végétale*. Bruxelles : DE Boeck. 256 p.

INSP (Institut Nationale de la Santé Publique), 2007. Bilan des données de pollution par les poussières (PM10) au niveau d'Alger de 2001 à 2006. 7p.

J.O.R.A.D.P (Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire), 2006. N°01.

J.O.R.A.D.P (Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire), 2003. N°43.

Joumard, Robert, Paturel, Laurent, Vidon, Robert et al, 1990. *Emissions unitaires de polluants des véhicules légers*. Rapport n°116. Bron : INRETS. 120 p.

Lacour, Stéphanie, 2005. *Cours de pollution atmosphérique. Inventaires d'émissions*. CEREA : Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 19p

Levy, Jacques, 1999. *Le tournant géographique : penser l'espace pour lire le monde*. Paris : Belin. 399 p

Malbereil, 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

Mouaci, Karim, 2002, étude de quelques sources de polluants atmosphériques dans la région de Bejaia, thèse ING : Université de Bejaia. 2p.

Nicolas, Jean-Pierre ; Duprez, Fabien ; Durand, Sandrine, et al, 2002. 10 Ans de monétarisation des effets locaux de la pollution atmosphérique. Tome 1 : des évaluations scientifiques aux décisions politiques. Laboratoire d'Economie d'économie des transports. 12 p

Noppe, Jane, 1998. Emissions de polluants et consommation liées à la circulation routière :

OCDE (Organisation de Coopération pour le Développement Economique), 1995. *La pollution des véhicules à moteurs : stratégies de réduction au de la de 2010*. Paris : Les éditions de l'OCDE. 148p

Oglivie, Ken, 2004. Abécédaire des changements climatiques et de la santé humaine.16-18

ORAMIP (Observatoire Régional de L' Air en Midi-Pyrénées), 2007. *Etudes qualité de l'air projet liaison autoroutière Castres-Toulouse*. Rapport d'études. 12 p.

Paramètres déterminants et méthode de quantification. Paris : ADEME Editions. 112 p.

Pillot, Didier, 1997. Emissions représentatives des véhicules lourds en circulation.

PPA (Plan de Protection de l'Atmosphère), 2004. Evaluation des mesures : sources fixes, sources mobiles, urbanismes, information du public dans l'agglomération toulousaine. Paris : DRIRE.16p

PRQA (Plan Régional de la Qualité de l'Air) le région de REUNION, 2007. S'assurer de la représentativité des mesures de la qualité de l'air sur la plan spatial et temporel. 80-81 p

PRQA (Plan Régional pour la Qualité de l'Air), 2000. L'air se découvre... avec le PRQA Nord - Pas-de-Calais. 111 p.

SAMA SAFIA (Ministère algérien de l'aménagement de territoire, l'environnement et de tourisme), 2011. [En ligne]. Disponible sur : <<http://www.samasafia.dz/>>

Sammut, Magali, 2007. Spéciation du cadmium, du plomb et du zinc dans les poussières d'émissions atmosphériques d'origine sidérurgique Approche de l'impact toxicologique des poussières. Thèse DOC : Paul CÉZANNE.10p

SETRA (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes), 1995. *Pollution de proximité par voie aérienne : constat et perspective.* France.18p.

SFSP (Société Française de Sante Publique), 1996. La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique- Bilan de 15 ans de recherches internationale-.Vandœuvre-lès-Nancy. 251p.

Thibault, Janine, 2003. L'air au quotidien : approche théorique et expérimentale. Paris : Odile Jacob. 60p.

Trappier, Anne lasmanne, 2004. Transport routier et pollution dans les Alpes : le cas particulier de la vallée de Chamonix .dossier de synthèse. ARSMB.ABS.CPVH. 9p

Tsague, Louis, 2009. La pollution due au transport urbain et aéroportuaire : caractéristiques et méthodes de réduction. Paris: Harmattan. 38-51p.

Vincent, Buchard ; Helfer Pascal ; Mattle Phillip ; Muller Clive, 2000. *Etude de la pollution automobile transfrontalière.* Ecole fédérale polytechnique de Lausanne. 9p

Résumé

L'objectif de ce travail est d'estimer les teneurs aux NO_x d'origine routière, et d'accéder à une cartographie de concentrations de ce polluant dans la ville de Tiaret. Les NO_x ont été déterminé par spectroscopie infrarouge sur 33 lichens de *Xanthoria parietina*, transplantés dans différents saisons et différents sites à trafic routier important,

. Les fortes teneurs des oxydes d'azote sont enregistrées dans la saison Hivernale et Automnale avec des valeurs maximale de 35,00% et 34,70% respectivement. La saison Printanière présente aussi des teneurs importantes de NO_x avec un maximum de 33,40%. L'été occupe la quatrième position avec des teneurs faible avec une valeur maximale de 10%.

La cartographie effectuée a pour objectif de répondre au besoin de connaissance spatiale du problème de pollution atmosphérique, et son impact sur la santé publique en milieu urbain.

Mots clés : trafic routier, oxydes d'azote, *Xanthoria parietina*, cartographie, Tiaret.