

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**Université Constantine 1  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de biologie végétale et écologie**

N° d'ordre :

N° de série :

**MEMOIRE**

**En vue de l'obtention du diplôme de magister  
en Ecologie et Environnement**

**Option : Pathologie des Ecosystèmes Forestiers**

**THEME**

**Utilisation des végétaux pour l'évaluation de la  
pollution atmosphérique le long de l'autoroute  
Est-Ouest dans la région de Constantine**

**Présenté par : Melle Bouteraa Mahdia**

**Devant le jury :**

**Président :** Mr. BENDERRADJI M.E.H. Pr. Université Constantine 1

**Rapporteur :** Mr. RAHMOUNE C. Pr. Université Constantine 1

**Examineurs:** Mr. ALATOU D. Pr. Université Constantine 1

Mme. OUAHRANI G. Pr. Université Constantine 1

**2013-2014**

*« La réussite est liée à la patience  
mais elle dépend également  
de beaucoup de bonne volonté»*

***Henry Ford (1863-1947)***

*A mon père*

*A ma mère*

# *Remerciements*

Au terme de ce travail, je tiens à remercier tout d'abord le Professeur **C. Rahmoune** qui m'a encadré tout au long de ce travail en me faisant bénéficier de ses connaissances scientifiques et de ses conseils. Je lui exprime ma profonde gratitude pour l'aide qu'il m'a fournie durant la réalisation de ce travail, qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect et de ma sincère reconnaissance.

Je remercie le professeur **M.H. Benderadji** (Université Constantine 1) d'avoir accepté de juger ce travail et présider le jury de ce mémoire.

Je remercie également le professeur **D. Alatou** (Université Constantine 1) pour m'avoir honoré en acceptant de juger ce mémoire en tant que rapporteur.

C'est avec un grand bonheur que j'ai appris que le professeur **Ouahrani G** (Université Constantine 1) a accepté de juger ce travail en tant que rapporteur. Qu'elle en soit remerciée.

Je voudrais exprimer toute ma reconnaissance au Dr. **L Sahli** (Université Constantine 1) et Dr. **W Bouteraa** (Université de Msila) d'avoir partagé leurs expériences et leurs connaissances chacun dans son domaine.

Je tien à remercier **Mme Soltani A** ingénieur au laboratoire de Biologie et Environnement (Université Constatine 1) pour sont soutien moral et matériels, ainsi que **Mme Bouregbi I** ingénieur à la conservation de forets de la wilaya de Skikda, pour ces documents précieux.

Mes remerciements et reconnaissance à ma famille, mes amis (e) et collègues de travail (CEM-Ibn Rostom), qu'ils trouvent ici ma reconnaissance et mon respect. Aussi que ceux qui ont contribué de façon directe ou indirecte à la réalisation de ce mémoire et qui n'ont pas été cités je leurs exprime mes sincères reconnaissances.

## ملخص

ركز هذا البحث على دراسة تلوث الهواء على طول الطريق السيار شرق غرب لولاية قسنطينة و الرابط بين مدينة قسنطينة وبلدية شلغوم العيد، ولاية ميلة. في هذا الإطار، تم اختيار صنفين من الأنواع الخشبية للأشجار المورقة والأكثر تواجدا على هذا الطريق: (الألأقية للفصول الأربعة *Acacia retinoïdes* و الدفلة *Nerium oleander*) كمؤشرات حيوية لهذا النوع من التلوث .

الهدف من هذه الدراسة هو معرفة مدى تأثير الجسيمات العالقة في الهواء كما و كيفا على الخصائص الفزيولوجية (الكلوروفيل، البرولين و السكريا الذائبة) و المرفولوجية (المساحة الورقية و العالقة وزن الغض و الوزن الجاف ) لهذين النوعين من النباتات في المراحل الثلاثة للنمو (الازهار، الاثمار و النضوج) علما أن أخذ العينات كان في شهر ماي ، جوان و جويلية.

في هذا السياق، تم العمل على مستوى ستة محطات و المتمثلة في كل من محطة المريج، سيساوي، زواغي، عين سمارة، وادي العثمانية و محطة شلغوم العيد وأخذت عينات من أوراق كل نوع، في الجهتين (الذهاب و العودة) للطريق السيار لكل محطة.

بينت الاختبارات الزمكانية و من خلال هذه الدراسة مدى مقاومة كل من الألأقية للفصول الأربعة *Acacia retinoïdes* و الدفلة *Nerium oleander* لكمية الجسيمات العالقة.

**الكلمات المفتاحية:** تلوث الهواء، المؤشرات الحيوية، الطريق السيار شرق غرب،

*Nerium oleander* , *Acacia retinoïdes* .

## Résumé

Ce travail a porté sur l'étude de la pollution atmosphérique le long de l'autoroute Est-Ouest (tronçon Constantine -Chalghoum El Aid) en utilisant deux espèces ligneuses (*Acacia retinoides* et *Nerium oleander*) comme bio- indicatrices de ce type de pollution.

Dans ce contexte, six stations ont été choisies pour le prélèvement des deux espèces, concernant essentiellement le feuillage, échantillonné en trois campagnes (mai, juin et septembre) correspondant aux trois stades de développement de chacune d'elles (floraison, fructification et maturation).

Les paramètres physiologiques (chlorophylles, proline et sucres solubles) et morphologiques (surface foliaire, rapport matière Fraiche à la matière sèche) ont été mesurées ainsi que la quantification des particules en suspensions issues des six stations d'échantillonnages sur les deux cotés de l'autoroute Est Ouest (Aller et Retour) aux niveaux des pénétrants.

Les résultats montrent une variation dans le temps (trois campagnes de prélèvement) et dans l'espace (stations) de ces paramètres et le test de l'analyse de la variance pour un facteur (effet stations) a révélé une différence très hautement significatif pour les paramètres physiologiques et morphologiques, alors que pour les particules en suspensions ce même test était non significatif.

Le test de l'Analyse en Composante Principale (ACP) a mis en évidence des corrélations spatiotemporelles entre les paramètres physiologique, morphologique des deux espèces (*Acacia retinoides* et *Nerium oleander*) et la quantité des particules en suspensions, ce qui révèle par conséquent leur sensibilité (tolérance) à la pollution particulaire durant les trois stades de leurs développement.

**Mots clés :** Pollution Atmosphérique, Bio-indication, Autoroute Est-Ouest, *Nerium oleander*, *Acacia retinoides*,

## **Abstract**

This work focused on the study of air pollution using two woody species ( *Acacia retinoides* and *Nerium oleander* ) as bio indicators of this type of pollution, while along the east-west highway in the region of Constantine ( section Constantine Chalhoun El - Aid) . In this context, six stations were selected for the collection of both species, the levy relates primarily foliage sampled in three companion (May, June and September) corresponding to the three stages of development of each (flowering , fruiting and ripening ) .

Physiological parameters (chlorophyll, proline and soluble sugars) and morphological (leaf area ratio, material Fraiche dry matter) were measured as well as the quantification of suspended particles from the six sampling stations on both sides of the East West Highway (Back and forth).

The test for the analysis of variance for a factor (effect stations) to be a very highly significant difference for the physiological and morphological parameters, while the particles in suspensions for the same test was not significant.

The test of Principal Component Analysis (PCA) to revealed spatiotemporal correlations between physiological and morphological parameters of the two species *Acacia retinoides* and *Nerium oleander* which consequently reveal their tolerance to particulate pollution during the three stages of development.

**Keywords:** Air Pollution, Bio-indication, East-West Highway, *Nerium oleander*,  
*Acacia retinoides*

<b>LISTE DES FIGURES</b>	
Figure 01: Structure de l'atmosphère terrestre	04
Figure 02: Évolution de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Source : CITEPA	08
Figure 03: Liste des HAP classés comme polluants prioritaire (Foan., 2012).	10
Figure 04: Comparaison de composition chimique des particules de diamètre inférieur à 1µm en milieu urbain et rural (Meszaros., 2000).	12
Figure 05: Emission, Transport et Dépôt des polluants (source : ADEME)	23
Figure 06: Impact des polluants atmosphériques sur les plantes (A, B, C, D)	24
Figure 07: Concept de Bio-indication (Cuny et al., 2012).	33
Figure 08: Présentation schématique des taxons bio-accumulateurs d'ETM et des paramètres régissant les phénomènes d'accumulation.	41
Figure 09 : Principaux mécanismes d'entrée des polluants dans les plantes (Cuny., 2012)	45
Figure 10 : Structure de la chlorophylle (a) et la chlorophylle (b)	53
Figure 11 : Structure de la proline	54
Figure 12 : Situation géographique de la zone d'étude	56
Figure 13 : Nature de sol de la zone d'étude (extraite de la carte géologique Nord-est Algérien-J.M.Villa)	58
Figure 14 : Carte bioclimatique de la zone d'étude (source : BNEDER 2008)	60
Figure 15 : Moyennes mensuelles précipitations dans la station d'Ain Bey (1971-2010)	61
Figure 16: Répartition saisonnière des précipitations dans la station d'Ain Bey (1971-2010)	62
Figure 17 : Moyennes mensuelles des températures dans la station d'Ain Bey (1971-2006)	63
Figure 18 : Variations des vitesses moyennes mensuelles des vents dans la station d'Ain El Bey (1983- 2006)	64
Figure 19: Variations de l'humidité moyenne mensuelles dans la station d'Ain El Bey (1983- 2006)	65
Figure 20: Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	66
Figure 21: Climagramme d'Emberger	67
Figure 22 : Localisation des stations de prélèvement	72
Figure 23 : Points d'échantillonnage de la station d'El Mridj	73
Figure 24 : Points d'échantillonnage de la station de Sissaoui	73
Figure 25 : Points d'échantillonnage de la station de Zouaghi	74
Figure 26 : Points d'échantillonnage de la station d'Ain Smara	74
Figure 27 : Points d'échantillonnage de la station d'Oued El Athmania	75
Figure 28 : Points d'échantillonnage de la station de Chalghoum El Aid	75

Figure 29 : Variation de la teneur en chlorophylle totale en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i> .	75
Figure 30 : variation de la teneur en chlorophylle totale en fonction des stations de Prélèvement chez <i>Nerium oleander</i> .	77
Figure 31 : Variation de la teneur en chlorophylle (a) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	79
Figure 32: Variation de la teneur en chlorophylle (a) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	81
Figure 33 : Variation de la teneur en chlorophylle (b) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	81
Figure 34: Variation de la teneur en chlorophylle (b) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	83
Figure 35 : Variation du rapport de la Chl (a)/Chl (b) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	84
Figure 36 : Variation du rapport Chl(a)/Chl(b) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	85
Figure 37 : Variation de proline en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	88
Figure 38: Variation de proline en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	89
Figure 39: Variation du des sucres solubles en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	91
Figure 40 : Variation des sucres solubles en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	93
Figure 41: Variation du rapport MF/MS en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	95
Figure 42: Variation du rapport MF/MS en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	97
Figure 43: Variation de la surface foliaire en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	99
Figure 44: Variation de la surface foliaire en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	100
Figure 45: variation des particules extraite par l'EDTA en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	102
Figure 46: Variation des particules extraite par l'Hcl en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	102
Figure 47: variation des particules extraite par l'EDTA en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	104
Figure 48: Variation des particules extraite par l'Hcl en fonction des stations de prélèvement	104

chez <i>Nerium oleander</i>	
Figure 49 : Cercle de corrélation (ACP) (variable-individus) de l'espèce <i>Acacia retinoides</i> en mois de mai	109
Figure 50 : Cercle de corrélation (ACP) (variable-individus) de l'espèce <i>Acacia retinoides</i> en mois de juin	110
Figure 51: Cercle de corrélation (ACP) (variable-individus) de l'espèce <i>Acacia retinoides</i> en mois de septembre	112
Figure 52 : Cercle de corrélation (ACP) (variable-individus) de l'espèce <i>Nerium oleander</i> en mois de mai	113
Figure 53 : Cercle de corrélation (ACP) (variable-individus) de l'espèce <i>Nerium oleander</i> en mois de juin	115
Figure 55 : Cercle de corrélation (ACP) (variable-individus) de l'espèce <i>Nerium oleander</i> en mois de septembre	116

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01: Évolution des concentrations de certains gaz en absence d'une limitation des émissions	11
Tableau 02: Classement des particules en fonction de leur dimension	13
Tableau 03: Source anthropique des Principaux Polluants de l'air ambiant (Ngô et Régent., 2008)	18
Tableau 04: Impact des polluants atmosphérique sur la végétation. (Griffiths., 2003 ; Ramade., 2005 et Kebiche., 2006)	25
Tableau 05 : Une vue récapitulative de l'Impact des polluants atmosphérique sur la santé humaine (Yamanie 2005 ., Rahal., 2009 et Rahal., 2005).	28
Tableau 06 : Résumée des types de bio-indication	36
Tableau 07: Quelques Espèces et Variétés du laurier rose	49
Tableau 08 : Caractéristiques de la station d'Ain Bey	59
Tableau 09 : Précipitation moyennes mensuelles dans la station d'Ain Bey (1971-2010)	61
Tableau 10 : Répartition saisonnière des précipitations dans la station d'Ain Bey (1971-2010)	61
Tableau 11 : Moyenne mensuelles des températures de la station d'Ain El Bey (1971-2010)	61
Tableau 12: Moyennes mensuelles de la vitesse du vent dans la station d'Ain El Bey (1983-2006)	63
Tableau 13: Humidité relative moyenne en (%) dans la station d'Ain El Bey (1983-2006)	64
Tableau 14: Valeur du quotient pluviométrique d'EMBERGER de la station Ain El Bey	67
Tableau 15 : Répartition des formations forestières dans la zone d'étude	69
Tableau 16: Tronçon de l'autoroute Est -Ouest de la région de Constantine	70
Tableau 17 : Localisation et caractéristique des points d'échantillonnage	71
Tableau 18 : Technique de lavage des feuilles	81
Tableau 19: Matrice de corrélation pour <i>Acacia retinoïdes</i> en moi de mai	117
Tableau 20: Matrice de corrélation pour <i>Acacia retinoïdes</i> en moi de juin	118
Tableau 21: Matrice de corrélation pour <i>Acacia retinoïdes</i> en moi de septembre	119
Tableau 22: Matrice de corrélation pour <i>Nerium oleander</i> en moi de mai	121
Tableau 23: Matrice de corrélation pour <i>Nerium oleander</i> en moi de juin	123
Tableau 24: Matrice de corrélation pour <i>Nerium oleander</i> en moi de septembre	125

## LISTE DES PHOTOS

Photo 01 : Différents types de thalles utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'air D'après AREHN., 2004	37
Photo 02 : mousses bio-accumulateurs de polluant atmosphérique	39
Photo 03 : Feuilles de <i>Nerium oleander</i> nécrosées (Septembre, 2013)	42
Photo 04 : Feuilles d' <i>Acacia retinoides</i> nécrosées (Septembre, 2013)	42
Photo 05 : Fleurs (A) et Fruits (B) d' <i>Acacia retinoides</i> (Acacia des quatre saisons).	48
Photo 06 : Fruits (A) et Fleurs(B) du <i>Nerium oleander</i> (Laurier rose)	51
Photo 07 : Fruits d' <i>Acacia Retinoides</i> (Juin, 2013)	76
Photo 08: Fleurs de <i>Nerium oleander</i> (Mai, 2013).	76
Photo 09 : PMI 3003C Appareil de mesure de la surface foliaire.	78
Photo 10 : Technique de mesure de la surface foliaire	78
Photo 11 : Préparation des échantillons pour l'agitation pour les deux espèces	80
Photo 12 : Filtration des échantillons. 2013	80
Photo 13: Préparation des filtres (dessiccation à l'étuve et pesage au balance de précision). 2013	81
Photo 14 : Les filtres après dessiccation à l'étuve, 2013	81

## **LISTE DES ANNEXES**

Annexe 01 : Normes internationales des polluants atmosphériques
Annexe 02 : Lois de protection de l'environnement (Journal Officiel Algérien)
Annexe 03 : Courbes d'étalonnages
Annexe 04: Chlorophylles
Annexe 05: Sucres solubles
Annexe 06: Proline
Annexe 07: Rapport MF/MS
Annexe 08: Surface foliaire
Annexe 09: Matière en suspension
Annexe 10: Présentation des stations en codes pour les deux espèces étudiées

## Liste des abréviations

\*ADEME : Agence de l'environnement et la Maîtrise de l'Energie, France

\*ChlT: Chlorophylle total

\*EDTA : Acide Tetra Diamine Ethylène

\*ETM : Eléments Traces Métalliques

\*MF : Matière Fraiche

\*MS : Matière Sèche

\*P : Précipitation

\*Pr: Probabilité

\*Pro: proline

\*PS<sub>EDTA</sub> : Particule en Suspension extraite par l'EDTA

\*PS<sub>Hcl</sub> : Particule en Suspension extraite par l'Hcl

\*SF : Surface Foliaire

\*Suc sob: Sucres Solubles

### \*Stations d'échantillonnages :

MAC1 : station d'el Mridj coté « Aller » d'*Acacia retinoïdes*

SAC2 : station de Sissaoui coté « Aller » d'*Acacia retinoïdes*

ZAC3 : station de Zouaghi coté « Aller » d'*Acacia retinoïdes*

ASAC4 : station d'Ain Smara coté « Aller » d'*Acacia retinoïdes*

THAC5 : station d'Oued El athmania coté « Aller » d'*Acacia retinoïdes*

CHAC6 : station de Chalghoum El Aid coté « Aller » d'*Acacia retinoïdes*

MRC1 : station d'el Mridj coté « Retour » d'*Acacia retinoïdes*

SRC2 : station de Sissaoui coté « Retour » d'*Acacia retinoïdes*

ZRC3 : station de Zouaghi coté « Retour » d'*Acacia retinoïdes*

ASRC4 : station d'Ain Smara coté « Retour » d'*Acacia retinoïdes*

THRC5 : station d'Oued El athmania coté « Retour » d'*Acacia retinoïdes*

CHRC6 : station de Chalghoum El Aid coté « Retour » d'*Acacia retinoïdes*

MAL1 : station d'el Mridj coté « Aller » de *Nerium oleander*

SAL2 : station de Sissaoui coté « Aller » de *Nerium oleander*

ZAL3 : station de Zouaghi coté « Aller » de *Nerium oleander*

ASAL4 : station d'Ain Smara coté « Aller » de *Nerium oleander*

THAL5 : station d'Oued El athmania coté « Aller » de *Nerium oleander*

CHAL6 : station de Chalghoum El Aid coté « Aller » de *Nerium oleander*

MRL1 : station d'el Mridj coté « Retour » de *Nerium oleander*

SRL2 : station de Sissaoui coté « Retour » de *Nerium oleander*

ZRL3 : station de Zouaghi coté « Retour » de *Nerium oleander*

ASRL4 : station d'Ain Smara coté « Retour » de *Nerium oleander*

THRL5 : station d'Oued El athmania coté « Retour » de *Nerium oleander*

CHRL6 : station de Chalghoum El Aid coté « Retour » de *Nerium oleander*

T : Température

T° min : Température minimale

T° moy : Température moyenne

T° max : Température maximale

Résumé en arabe
Résumé en français
Résumé en anglais
Liste des figures
Liste des tableaux
Liste des photos
Liste des annexes
Liste des abréviations

# SOMMAIRE

<b>Introduction Générale</b>	01
<b>Première partie : Synthèse bibliographique</b>	
<b>Chapitre 1 : Pollution atmosphérique</b>	03
1.1. Introduction	03
1.2. Historique	03
1.3. Structure verticale de l'atmosphère	03
1.4. Définition de pollution atmosphérique	05
1.5. Principaux polluants atmosphériques-	05
1.5.1. Polluants atmosphériques primaires	06
1.5.2. Polluants atmosphériques secondaires	15
1.6. Sources de polluants atmosphériques	16
1.6.1. Sources naturelles	16
1.6.2. Sources anthropogènes	17
1.6.2.1. Industrielles	17
1.6.2.2. Trafic routier	18
1.6.2.3. Agriculture	21
1.7. Echelles d'émission de polluants atmosphériques	22
1.7.1. Echelle local	22
1.7.2. Echelle régional	22
1.7.3. Echelle planétaire	23
1.8. Phénomène d'émission et transport de polluants atmosphérique	23
1.9. Impact de Pollution atmosphérique	24
1.9.1. Impact sur l'environnement	24
1.9.1.1. Impact sur la végétation	24
1.9.1.2. Impact sur les animaux	26
1.9.1.3. Le dérèglement climatique	26
1.9.2. Impact sur la santé humaine	27
1.10. Cadre Juridique de lutte contre la pollution atmosphérique	29
1.10.1. Cadre juridique international	29
1.10.2. Cadre Juridique national	30
1.10.3. Réseau de surveillance de la qualité de l'air en Algérie	30
<b>Chapitre 2 : Biosurveillance de la qualité de l'air</b>	32
2.1. Introduction	32
2.2. Définition de la bio-indication	32
2.3. Niveau d'indication	33
2.3.1. Bio-intégrateur	33
2.3.2. Bio-accumulateur	33
2.3.3. Bio-marqueur	34

2.4. Type de bio-indication	34
2.4.1. Bio-indication active	34
2.4.2. bio-indication passive	34
2.5. Bio-surveillance de la pollution atmosphérique par les organismes vivants	35
2.5.1. Bio-surveillance par les végétaux	35
2.5.1.1. Lichens	36
2.5.1.2. Mousses	38
2.5.1.3. Champignons	39
2.5.1.4. Ligneux	39
2.5.2. Bio-surveillance par les Animaux	45
<b>Chapitre 3 : Monographie des espèces étudiées</b>	47
3.1. Laurier rose ( <i>Nerium oleander</i> )	47
3.1.1. Répartition Géographique	47
3.1.2. Caractères écologiques du <i>Nerium oleander</i>	47
3.1.3. Systématique	48
3.1.4. Propriétés chimiques et médicinales	49
3.2. Acacia des quatre saisons ( <i>Acacia retinodes</i> ou <i>Acacia retinoïdes</i> )	50
3.2.1. Répartition géographique	50
3.2.2. Caractères Ecophysiologiques d' <i>Acacia retinoïdes</i>	50
3.2.3. Systématique	51
3.2.4. Propriétés Economiques	51
<b>Chapitre 4: Paramètres Physiologiques étudiées</b>	52
4.1. La chlorophylle	52
4.1.1. Définition de la chlorophylle	52
4.1.2. Structure de la chlorophylle	52
4.1.3. Chlorophylle et stress	52
4.2. Proline	53
4.2.1. Définition	53
4.2.2. Synthèse de la proline	53
4.2.3. Le rôle de la Proline	54
4.3. Les sucres solubles	55
<b>Deuxième partie : Matériels et Méthodes</b>	
<b>Chapitre 5: Présentation de la zone d'étude</b>	56
5.1. Situation géographique de la zone d'étude	56
5.2. Oro-hydrographie	57
5.3. Cadre géologique	57
5.4. Climat	59
5.4.1. Origine des données climatiques	59
5.4.2. Paramètres climatiques	59
5.4.2.1. Pluviométrie	59
5.4.2.1.1. Répartition saisonnière des précipitations	61
5.4.2.2. Température	62
5.4.2.3. Vent	63
5.4.2.4. Humidité relative	64
5.4.3. Synthèse bioclimatique	65
5.4.3.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	65
5.4.3.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER	66
5.5. Aperçu sur les caractéristiques générales des formations végétales et des terres de la région de Constantine	68
5.5.1. Répartition des terres	68
5.5.2. Répartition des formations végétales	68
5.6. L'autoroute Est-Ouest	69
5.6.1. Historique de L'autoroute Est-Ouest	69

5.6.2. Description de l'autoroute Est-Ouest	69
5.6.3. Choix de l'autoroute Est-Ouest	70
<b>Chapitre 6: Matériels et Méthodes</b>	71
6.1 Introduction	71
6.2. Plan d'échantillonnage	71
6.3. Stations d'échantillonnage	72
6.3.1. Station d'El Mridj	72
6.3.2. Station de Sissaoui	73
6.3.3. Station Zouaghi	74
6.3.4. Station d'Ain Smara	74
6.3.5. Station d'Oued El Athmania	75
6.3.6. Station de Chalghoum El Aïd	75
6.4. Compagnes de prélèvement	76
6.5. Technique de prélèvements des deux espèces	76
6.6. Paramètres mesurés	77
6.6.1. Mesure des paramètres morphologiques des deux espèces	77
6.6.1.1. Rapport matière Fraiche /matière Sèche	77
6.6.1.2. Surface Foliaire	77
6.6.2. Paramètres physiologiques	78
6.6.2.1. Dosage de la chlorophylle	78
6.6.2.2. Dosage de la proline	79
6.6.2.3. Dosage des sucres solubles	79
6.6.3. Technique d'extraction des Particules en suspension	80
6.7. Analyse statistique	81
<b>Troisième partie : Résultats et Discussion</b>	
<b>Chapitre 7 : Résultats et Discussions</b>	83
7.1. Paramètres Physiologique	83
7.1.1. Chlorophylle total	83
7.1.2. Chlorophylle (a)	86
7.1.3. Chlorophylle (b)	88
7.1.4. Le rapport Chl (a)/Chl (b)	91
7.1.5. Proline	95
7.1.6. Sucres solubles	99
7.2. Paramètres morphologiques	102
7.2.1. Rapport MF/MS	102
7.2.2. Surface foliaire	106
7.3. Particules en suspensions	110
7.4. Analyse en Composante Principale (ACP)	116
7.4.1. <i>Acacia retinoïdes</i>	116
7.4.2. <i>Nerium oleander</i>	121
<b>Conclusion générale</b>	127
<b>Perspectives</b>	131
<b>Références bibliographiques</b>	132
<b>Annexes</b>	

# **INTRODUCTION**

## **GÉNÉRALE**

## **Introduction Générale**

Durant le dernier siècle, l'industrialisation et l'essor des transports ont joué un rôle essentiel dans l'évolution de la société. Ces activités étaient synonymes de progrès, de modernité et d'enrichissement. En effet, de grandes quantités de substances chimiques sont relâchées dans l'environnement, la plupart d'entre elles étant considérées comme dangereuses. L'introduction de ces composés implique des risques sérieux non seulement pour l'environnement et les organismes vivants, mais aussi pour la santé humaine (**Amri, 2007**).

La pollution atmosphérique est l'une des pollutions les plus étudiées à l'heure actuelle, l'une des problèmes majeurs de notre société. Quand on considère que chaque individu (adulte) respire 15000 Litre d'air par jour, on conçoit que le maintien de sa qualité naturelle figure au premier plan de nos préoccupations.

Le développement des infrastructures en Algérie et plus précisément l'installation de grandes autoroutes, peut augmenter le taux de polluants dans l'air et peut affecter les êtres vivants dont la végétation est en premier lieu. Donc la quantification de cette pollution est possible par des espèces végétales qui peuvent être soit de strate arborescente ou arbustive. Ces espèces végétales représentent une ressource vitale pour notre vie, jouant un rôle écologiques (purifiant l'aire, protégeant le sol contre l'érosion et améliorant la qualité de l'eau) ; et socio-économiques important.

Depuis les années soixante dix de nombreuses recherches ont été menées sur l'utilisation des végétaux comme bio-indicateurs et bio-accumulateurs de la pollution atmosphérique (**Maizi et al., 2010**), ces végétaux ont la propriété, soit de réagir très rapidement et d'une façon très visible aux polluants, soit d'accumuler très fortement les polluants présents (**Garrec., 2007**). Les différents arbres utilisés comme bio-indicateurs de pollution atmosphérique sont : les platanes d'orient (*Platanus orientalis*) et le caroubier (*Ceratonia siliqua*) (**Belhadj et al., 2011**), platane commun (*Platanus vulgaris S.*) (**Moreau-Guigon et al., 2011**), Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et les cyprès (*Cupressus sempervirens, Cupressus macrocarpa*)(**Dallaa.,2012**),le Châtaignier (*Castanea sativa*) ; et le Laurier rose(*Nerium oleander*) (**Rossini Oliva., 2007**). Ces végétaux sont qualifiés d'arbres sensibles.

Notre étude consiste à utiliser des espèces végétales pérennes bio-indicatrices (ligneux) pour l'évaluation de la pollution atmosphérique le long de l'autoroute Est Ouest (tronçon Constantine-Chelghoum El Aid). Ces deux espèces sont représentatives du milieu de travail.

En effet, ce travail est venue pour compléter un ensemble de travaux de recherches effectué au niveau de la ville de Constantine en ce qui concerne la pollution de l'environnement et plus particulièrement la pollution atmosphérique (**Dallaa.,2003; Amri., 2007, Boussaboua.,2010 et Dalaa.,2012...**).

Dans ce contexte les objectifs de cette étude sont de contribuer à une meilleure connaissance :

(1) de l'état des lieux par la quantification des poussières déposées sur les feuilles des deux espèces choisie (*Acacia retinoïdes* et *Nerium oleander*).

(2) l'estimation de la teneur en paramètres physiologiques et morphologiques pour les entreprendre comme indicateurs de pollution atmosphérique.

Ces objectifs sont développés dans ce mémoire qui s'articule en trois parties :

► La première partie repose sur une "**synthèse bibliographique**" qui vise à donner un aperçu sur la pollution atmosphérique, concept de bio-indication, la monographie des deux espèces ainsi que les paramètres physiologiques et morphologiques étudiées.

► La deuxième partie, "**Matériel et Méthodes**", décrit la zone d'étude à savoir la région de Constantine et l'autoroute Est-Ouest en donnant un aperçu sur la situation géographique, la climatologie ainsi que les industries et les agglomérations implantées. Cette description de la zone d'étude permet de justifier le plan d'échantillonnage, notamment la localisation des stations de prélèvements. Il expose ensuite l'intégralité des méthodes et techniques utilisées au cours de cette étude, de l'échantillonnage à l'analyse pour atteindre les objectifs visés : préparation du matériel d'échantillonnage, le mode de prélèvement, les mesures au laboratoire.

► La troisième partie, "**Résultats et discussion**" s'attache aux résultats obtenus et leurs traitements statistiques tout en comparant avec les résultats obtenus soit sur le niveau national ou international.

Enfin une conclusion qui résume tout ce qui était étudié et synthétisé, ainsi que des perspectives concernant l'importance des végétaux (ligneux) pour la détection de la pollution atmosphérique en proposant d'élargir le travail en compartiment sol dans des distance plus ou moins élevées(en longueur et largeurs) par rapport à l'autoroute Est Ouest.

# **PREMIÈRE PARTIE**

Synthèse bibliographique

## **Chapitre 1. Pollution atmosphérique**

### **1.1. Introduction**

De tout les milieux avec les quels l'homme est en contact ; l'atmosphère est le seul auquel il ne peut se soustraire. C'est aussi le milieu où il a les échanges les plus importants. L'air atmosphérique est un mélange inodore et incolore de plusieurs gaz de composition constante à l'état pur : 78% du gaz azoté (N<sub>2</sub>), 21% de l'oxygène (O<sub>2</sub>), 1% d'argon (Ar), ainsi que les gaz rare et la vapeur d'eau (**Anonyme., 2004**). A côté de ces constituants majoritaires, représentant plus de 99,5% de la masse de l'atmosphère, coexistent une multitude d'autres composés minoritaires : molécules, atomes ou radicaux.

Par la nature et l'étendue de son impact, le rejet d'un grand nombre de polluants dans l'atmosphère représente une grave menace pour la santé humaine mais aussi pour l'environnement (**Foan., 2012**). Les composés ou éléments chimiques libérés dans l'atmosphère qui résultent principalement des activités humaines et qui peuvent causer des dommages chez les organismes vivants, sont considérés comme des polluants de l'air (**Moriarty., 1999 cité par Catinon., 2010**).

### **1.2. Historique**

L'évolution du concept de la pollution atmosphérique est liée principalement au changement et variation de la concentration du CO<sub>2</sub>, Cette dernière à beaucoup augmenté depuis le début de l'ère industrielle. Des mesures effectuées, par exemple, sur les bulles d'air emprisonnées dans les glaces polaires, montrent qu'elle est passée de 280 ppm avant l'ère industrielle à plus de 400 ppm actuellement, soit une augmentation de près de 30 % seulement en un siècle et demi. Au rythme actuel d'émission, cette concentration pourrait dépasser 500 ppm en 2100. On admet qu'entre 1971 et 1988, les émissions annuelles de carbone dans le monde sont passées de 4,8 à 6 milliards de tonnes. On parle tantôt d'émissions de carbone, tantôt d'émissions de dioxyde de carbone.

### **1.3. Structure verticale de l'atmosphère**

L'atmosphère, est maintenue par gravité autour du globe terrestre en rotation; sa pression et sa densité diminuent avec l'altitude, de 700 à 800 km au dessus du niveau de la mer commence le vide interstellaire : au delà, dans l'exosphère, les molécules ne sont plus

maintenues par la gravité et s'échappent à travers la magnétosphère dans l'espace. (Beauchamp., 2005).

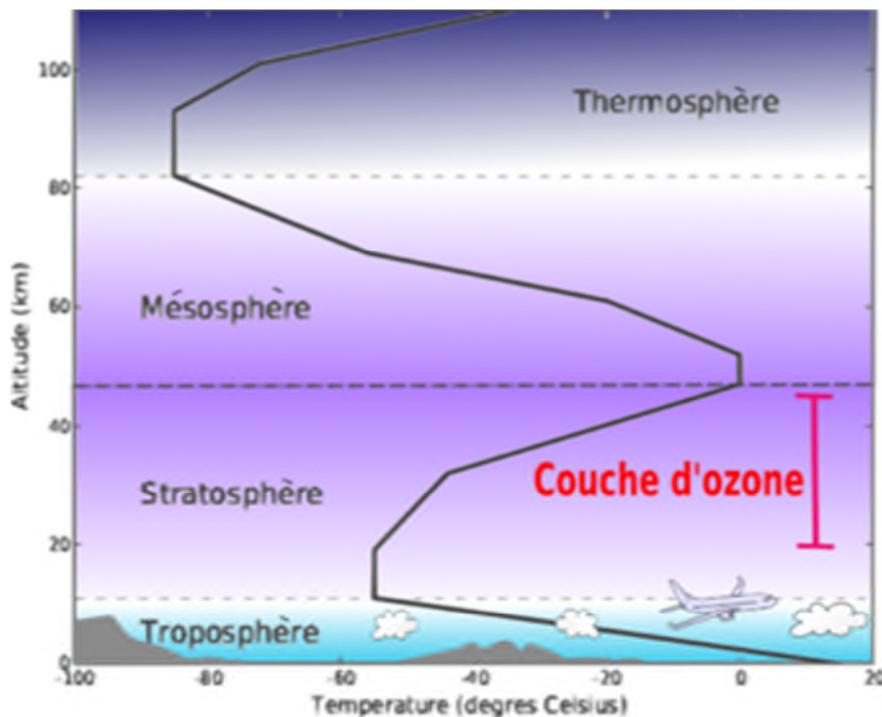
L'atmosphère terrestre est subdivisée en plusieurs couches concentriques et superposées en partant de la surface du sol où on trouve (Masclat., 2005), (Fig.1).

► **La biosphère** : Cette couche est comprise entre le sol et une centaine de mètres d'altitude. Elle est la zone où vivent les hommes, les animaux et les végétaux. Les polluants atmosphériques sont émis au niveau de cette zone.

► **La troposphère** : qui s'étend du sol jusqu'à 12Km d'altitude. C'est une zone où les composés chimiques se mélangent et réagissent entre eux.

► **La stratosphère** : Elle est comprise en moyenne entre 12 et 50 Km d'altitude. Les polluants y sont rares mais souvent destructeurs.

La mésosphère, la thermosphère et la magnétosphère sont négligeable en ce qui concerne la pollution atmosphérique.



**Figure 01** : structure de l'atmosphère terrestre  
**Source**: (Own work., 2007 par Asaphon)

#### **1.4. Définition de Pollution atmosphérique**

La pollution est définie comme toute modification anthropique d'un écosystème se traduisant par un changement de concentration des constituants chimiques naturels, ou résultant de l'introduction dans la biosphère de substances chimiques artificielles, d'une perturbation du flux de l'énergie, de l'intensité des rayonnements, de la circulation de la matière ou encore de l'introduction d'espèces exotiques dans une biocénose naturelle **(Ramade., 2005)**.

Plusieurs définitions ont été attribuées au terme "Pollution Atmosphérique". En Algérie, elle est définie, dans l'article 3 de la loi 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, comme suit : "Pollution de l'Atmosphère : l'introduction de toute substance dans l'air ou dans l'atmosphère provoquée par l'émanation de gaz, de vapeurs, de fumées ou de particules liquides ou solides susceptibles de porter préjudice ou de créer des risques au cadre de vie, à la santé ou à la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et des monuments ou au caractère des sites". Le conseil de l'Europe de 1967 a défini comme polluant atmosphérique toute substance étrangère ou dont la variation du taux dans l'atmosphère est susceptible de provoquer un effet nuisible, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer, une gêne **(Elichegaray., 2008)**.

Enfin la Loi sur l'Air et l'Utilisation rationnelle de l'Energie **(LAURE)** du 30 décembre 1996 (France), définit la pollution atmosphérique comme 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 ; à détériorer les biens matériels ; à provoquer des nuisances olfactives excessives.

#### **1.5. Principaux polluants atmosphérique**

L'atmosphère terrestre est le siège d'un transport de matière, en particulier d'éléments d'origines diverses, dont une proportion importante résulte des activités humaines. Ce phénomène induit des conséquences parfois graves, pour la santé humaine et pour la fonctionnalité des écosystèmes. Les populations socio-économiquement défavorisées peuvent être à la fois plus exposées à la pollution atmosphérique et plus sensibles aux effets sanitaires en résultant **(Catinon., 2010)**.

### 1.5.1. Polluants primaires

#### ► Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)

C'est un gaz toxique qui se transforme en anhydride sulfurique (SO<sub>3</sub>) en présence d'oxygène et en acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en présence d'eau. Il intervient de manière prépondérante dans le phénomène des pluies acides. Tous les pays industrialisés émettent du SO<sub>2</sub> mais les pays en voie de développement tel que l'Inde et la Chine (50% de SO<sub>2</sub> émis en 2003) sont actuellement les principaux pollueurs depuis que les pays fortement industrialisés sont équipés en techniques performantes et de dépollution du SO<sub>2</sub> (Masclat et Ramade., 2005).

#### ❖ Origine

En absence de toute pollution, l'atmosphère comporte une certaine quantité de composés soufrés : du SO<sub>2</sub> mais aussi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (sulfate) et H<sub>2</sub>S (sulfure d'hydrogène) issus essentiellement des volcans et de l'activité de fermentation anaérobique de certaines bactéries (Ramade., 2005). Les émissions totales de SO<sub>2</sub> naturelles sont estimées à 20 %. A la fin du XX<sup>e</sup> siècle, l'émission mondiale de SO<sub>2</sub> était de l'ordre de 95 Tg.an<sup>-1</sup>. Elle est en régression notable à l'échelle globale (Masclat., 2005). Ce polluant provient surtout des combustibles fossiles contenant du soufre (gaz naturel très soufré mais souvent désulfuré avant utilisation, charbons pouvant en contenir jusqu'à 8 %, pétroles bruts à teneur en soufre variable allant jusqu'à 3 %), ainsi que de certaines fabrications industrielles (fabrication de l'acide sulfurique et des plastiques, raffinage du pétrole et frittage de minerais sulfureux tels que blende, galène, pyrites, ...etc.).

#### ► Oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)

Ces oxydes d'azotes regroupent le monoxyde d'azote (NO), gaz incolore et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), gaz roux et toxique. NO reste peu de temps dans l'air car il s'oxyde rapidement en NO<sub>2</sub> lequel est prépondérant dans les atmosphères polluées.

Ils sont en constante augmentation en raison de la forte augmentation du parc automobile en passant de 108 Tg.an<sup>-1</sup> en 1985 à près de 150 Tg.an<sup>-1</sup> en 1998. Les émissions des NO<sub>x</sub> au USA ont pu atteindre les 50 Tg.an<sup>-1</sup> actuellement (Masclat., 2005).

#### ❖ Origine :

Les oxydes d'azote sont produits par les microorganismes anaérobies du sol, les éclairs et le volcan. Ils sont émis par l'agriculture et la sylviculture (16 %) et par les installations de combustion (centrales thermiques, usines de traitement des déchets...).

Lorsque le NO est directement émis, il se transforme en NO<sub>2</sub> en présence d'O<sub>2</sub>, d'O<sub>3</sub>, de C.O.V. Le NO<sub>2</sub> est également un précurseur de l'ozone lorsque les conditions météorologiques le permettent (action photochimique du soleil) ; c'est pourquoi il est mesuré aussi bien en zone urbaine que rurale. (Boussaboua., 2010).

### ► Monoxyde de carbone (CO)

Il est un produit de combustion incomplète. Gaz inodore et incolore, le monoxyde de carbone (CO) a une densité très proche de celle de l'air qui lui confère un haut pouvoir de dispersion. Sa concentration dans l'air pur varie de 0,05 à 0,2 ppm, mais peut atteindre quelques ppm en zone urbaine sans trafic automobile important, voire quelques dizaines de ppm sur un site d'intense trafic.

#### ❖ Origine

Les sources naturelles de CO sont nombreuses, principalement le volcanisme, les éclairs, les fermentations en milieu anaérobique, certains organismes marins (algues brunes), les incendies de forêts ou de savanes et surtout l'oxydation des terpènes volatils émis par les végétaux (production annuelle de 850 millions de tonnes de CO sur un total estimé à un milliard de tonnes par an). Mais reste sa source principale est l'oxydation photochimique du méthane qui est les hydrocarbures naturel le plus abondant.

Le CO se forme lors de combustions incomplètes en présence d'une quantité trop faible d'air, donc de dioxygène, par rapport au combustible. La principale source de monoxyde de carbone est le parc automobile dont les moteurs, mal réglés ou fonctionnant dans de mauvaises conditions, n'assurent qu'une combustion incomplète des hydrocarbures.

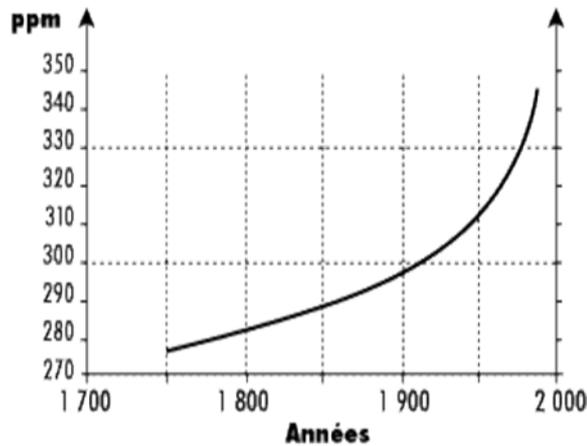
### ► Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

Le gaz de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) a une concentration dans l'air de 0,035 % en volume. Ce gaz possède la propriété d'absorber le rayonnement infrarouge vers la longueur d'onde de 15 μm environ. Il constitue 15 % de l'énergie rayonnée par la Terre vers l'espace et représente 60 % du renforcement anthropique total de l'effet de serre.

#### ❖ Origine

Le CO<sub>2</sub> atmosphérique provient essentiellement de la respiration ou de la fermentation des êtres vivants, de la précipitation des carbonates dans les océans, de l'altération des silicates sur les continents et du volcanisme. L'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère est essentiellement due aux activités humaines : la combustion des énergies fossiles, la déforestation et les changements d'affectation des sols.

La concentration du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère a augmenté de 35 % entre 1750 et 2005, elle est passée de 280 ppm à 379 ppm. Cette concentration est la plus forte valeur depuis 420000 ans et peut être depuis les 20 derniers millions d'année. Une tonne de CO<sub>2</sub> équivaut à 0,272 tonne de C; une tonne de C équivaut à 3,67 tonnes de CO<sub>2</sub>, (fig. 02).



**Figure 2 :** Évolution de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone dans l'atmosphère. **Source :** CITEPA (site)

La disparition annuelle de 1 % de la forêt tropicale provoque une réduction de la photosynthèse, donc de l'utilisation du CO<sub>2</sub> atmosphérique. De plus, quand les forêts et les pâturages sont convertis en terres cultivées, l'oxydation des matières organiques (combustion des arbres, disparition de l'humus, etc.) dégage d'importantes quantités de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Le rejet global dans l'atmosphère du dioxyde de carbone par les activités humaines s'établit entre 26,6 et 37,6 milliards de tonnes par an. Il augmente de 1 % environ chaque année.

#### ► Composés organiques volatils (COV) :

Les composés organiques volatils sont des substances de faible masse moléculaire correspondant à des solvants et à divers liquides de faible tension de vapeur. Très présents dans la nature, notamment dans les pétroles, se sont des composés organiques formés exclusivement d'hydrogène et de carbone. Les COV regroupent une multitude de substances et ne correspondent pas à une définition très rigoureuse. Les hydrocarbures appartiennent aux COV ainsi que le méthane et le propane (Lacour., 2009).

Parmi les grandes familles de composés organiques volatiles, on peut distinguer différentes familles de COV : les alcanes (saturés, abondants, par exemple propane), les

alcènes (liaison doubles, très réactifs), les diènes et les terpènes (multiples doubles liaisons), les aromatiques mono ou polycycliques (assez abondants et réactifs, par exemple, benzène, toluène ...), et les composés oxygénés (aldéhydes, cétones, esters, et alcool).

▪ **Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) :**

Se sont des polluants organiques persistants (POP) émis par les activités humaines suite à la combustion incomplète de la matière organique (industrie, chauffage, trafic routier...). En raison de leur faible taux de dégradation, de leur toxicité, de leur capacité à être transportés sur de longues distances et de leur bioaccumulation dans la matière organique, les HAP font l'objet d'une surveillance atmosphérique (directive cadre européenne 96/62/CE du 27 septembre 1996). Ces polluants parmi d'autres polluants organiques tel que : polychlorobiphényles (PCB), les dioxines (polychlorodibenzo-p-dioxines ; PCDD), les furanes (polychlorodibenzofuranes; PCDF), l'hexachlorobenzène (HCB), pesticides organochlorés (e.g. DDT, aldrine), les phénols polycycliques (**Jones et de Voogt, 1999**).

Parmi les HAP, seize sont recensés depuis 1976 sur la liste des polluants organiques prioritaires de l'Agence Américaine pour la Protection de l'Environnement (USEPA), cette classification est en fonction du nombre de cycles ou du nombre de noyaux aromatiques qu'ils contiennent. (**Foan., 2012**), (fig.03).

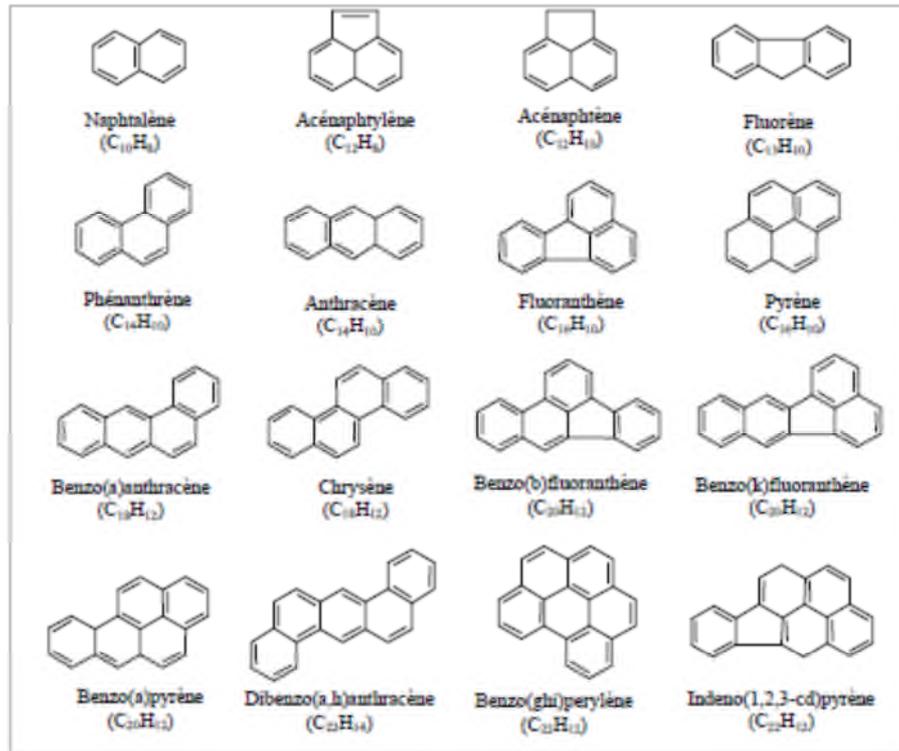
❖ **Origine :**

Chauffées par le soleil, les feuilles de certains végétaux des forêts de conifères et des zones humides exhale des substances constituées d'une agglomération de molécules d'hydrocarbures lourds et de composés oxygénés : les terpènes (polymères de l'isoprène  $C_5H_8$ ). Ces substances sont pour la plupart aromatiques (odeurs caractéristiques des maquis, des forêts de résine) et donnent une couleur bleutée à la brume qui se forme au-dessus de la végétation. Les terpènes sont extraits des végétaux sous la forme d'« huiles essentielles » :

- le pinène ou térébenthine ( $C_{10}H_{16}$ ) qui constitue environ 20 % de la résine de pin et que l'on utilise comme solvant ;
- le menthol ( $C_{10}H_{19}OH$ ), alcool terpénique extrait de l'essence de menthe poivrée et utilisé comme anesthésique local ;
- le camphre ;
- la citronnelle, etc.

Les hydrocarbures sont émis par les automobiles (présence d'hydrocarbures imbrûlés à la sortie du pot d'échappement), et par certaines activités telles que l'imprimerie, les ateliers de peinture, l'utilisation de solvants et de colles, les raffineries et unités pétrochimiques, le

stockage et la distribution d'hydrocarbures, le traitement des déchets. Ils sont également rejetés par des sources naturelles : les feux de forêt, qui libèrent près de 2 000 tonnes de HAP par an, sont sans doute la plus grande source naturelle. Cependant, ces rejets étant généralement très éloignés dans le temps et dans l'espace, ils n'entraînent pas de risque d'exposition continue (Lacour., 2009).



**Figure 3 :** Liste des HAP classés comme polluants prioritaires (Foan., 2012)

Les HAP s'introduisent dans l'environnement pendant la phase gazeuse ou agglutinés à des particules, principalement la suie. Dans l'air ambiant, 25 % des HAP adhèrent à des particules et 75 % se présentent sous forme gazeuse, à l'exception des substances provenant des alumineries.

#### ▪ Composés halogènes et halogénés

Composés halogènes sont des composés à base de fluor, brome, chlore, iode, etc. Doués d'une forte stabilité chimique, ils constituent souvent de redoutables contaminants de l'environnement, alors que les Composés halogénés sont des composés fluorés, généralement présents sous forme de fines poussières.

### ❖ Origine

La pollution au fluor est due principalement à :

- La production de l'aluminium par électrolyse c'est-à-dire l'incorporation à la bauxite ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) d'un fondant, la cryolite (fluorure double d'aluminium et de sodium), est responsable d'émanations allant de la cryolite aux composés gazeux (acide fluorhydrique HF) ;
- La fabrication des engrais phosphatés, l'attaque par l'acide sulfurique des phosphates naturels, contenant presque toujours du fluor en proportion variable, donne lieu à des dégagements d'acide fluorhydrique et de fluorure acide de silicium ( $\text{H}_2\text{SiF}_6$ ), pouvant représenter jusqu'à 10 g de fluor par  $\text{m}^3$  d'air. Du chlore et de l'acide chlorhydrique (HCl) sont rejetés dans l'atmosphère lors de l'incinération de certains déchets plastiques à base de polychlorure de vinyle (PVC), lors d'un dysfonctionnement dans la fabrication de chlore ou lors de la combustion du charbon.

### ► Méthane ( $\text{CH}_4$ ) ou Composé Organique non Volatile (CONV)

Le méthane, appelé aussi gaz des marais, inodore et peu dense, se trouve naturellement présent sous forme de traces dans l'atmosphère et constitue d'importants gisements lié au phénomène de la fermentation, il provient de la décomposition de matières organiques sous l'action de microorganismes, en absence de dioxygène (milieu anaérobique). Plus de la moitié des émissions de méthane qui augmentent de façon exponentielle, ont une origine anthropique, dont 60 à 70 % d'origine agricole. Le méthane se forme au niveau de marécages, termitières, sols inondés, intestins de ruminants, rizières, décharges d'ordures ménagères, exploitations de gaz naturel et mines de charbon. Il est également produit par le métabolisme digestif des herbivores « vache pétante » et des termites. Le  $\text{CH}_4$  provient aussi de la putréfaction au niveau des décharges (biogaz) ainsi que des activités agricoles : rizières, élevage de ruminants (Masclat., 2005), (tab.01).

**Tableau 1 :** Évolution des concentrations de certains gaz en absence d'une limitation des émissions.

Constituants	Ere préindustrielle	1988	2030(prévisions)
$\text{CO}_2$	275 000	339 000	450 000
$\text{CH}_4$	700	1 550	2 340
$\text{NO}_2$	280	301	375
CFC 11	-	0,17	1,1
CFC 12	-	0,28	1,8

Source : *État de l'environnement*, 1988, ministère de l'Environnement (France).

### ► Les polluants particuliers « aérosols »

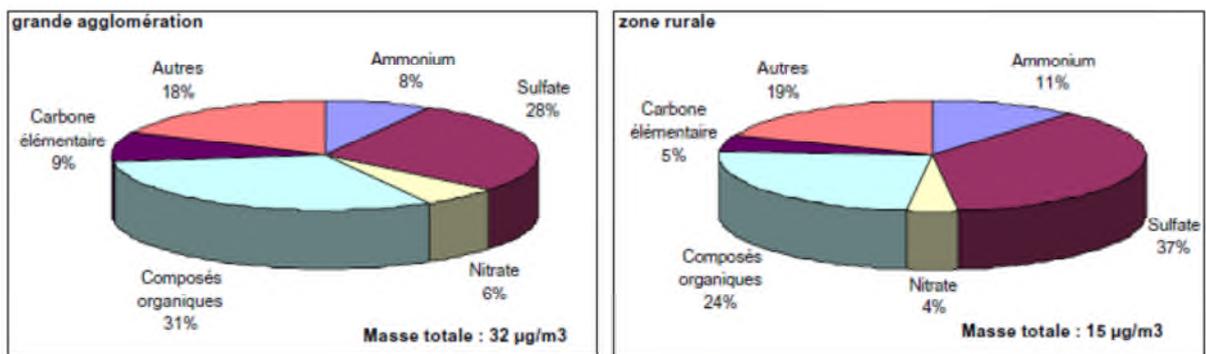
Le terme « aérosol » désigne la suspension dans le milieu gazeux, de particules solides ou liquides, ou les deux, présentant une vitesse de chute négligeable, il correspond à des particules de dimension inférieure à 100  $\mu\text{m}$ , les plus fines ayant des dimensions de quelques angströms. Ainsi, le spectre granulométrique de l'aérosol s'étend sur plusieurs ordres de grandeur, en plus l'aérosol inclut les particules et le gaz (ASPA., 2001 et Lacours., 2009).

Les aérosols (sulfure de diméthyle, ammoniac, hydrocarbures réactifs, oxysulfure de carbone, dioxyde de soufre, carbone particulaire) bien que peu abondants et à faible temps de résidence dans l'atmosphère (excepté ceux d'origine volcanique), ils peuvent agir de deux façons :

- rediffuser le rayonnement solaire, ce qui modifie l'albédo des nuages et contribuer au refroidissement de l'atmosphère ;
- favoriser la modification des équilibres microphysiques et chimiques de l'atmosphère.

En effet, les polluants particuliers sont classés en fonction de leur granulométrie (Ramade., 2005), (tab. 02) :

- Particules sédimentables.
- Particules semi-fines.
- Particules insédimentables.



**Figure 4 :** Comparaison de composition chimique des particules de diamètre inférieur à 1 $\mu\text{m}$  en milieu urbain et rural (Meszaros., 2000).

La composition chimique et la masse des particules en suspension est en fonction de l'environnement où elles sont rejetées, comme le montre la figure 4.

**Tableau 02** : Classement des particules en fonction de leur dimension.

Types de Particules	Taille de Particules
Les poussières sédimentables	Ce sont les plus grosses. Elles retombent Dans un rayon de quelques kilomètres de leur lieu d'émission
Les poussières en suspension (ou TSP-total suspended particulate)	Ce sont des particules en suspension d'un diamètre moyen inférieur à 75µm (à peu près de diamètre d'un cheveu)
Les PM <sub>10</sub> (PM pour particule mater)	Ce sont des particules dont le diamètre Est inférieur à 10µm
Les PM <sub>2,5</sub> (appelées « particule fines » )	Ce sont des particules dont le diamètre moyen est inférieur à 2,5 µm. Elles peuvent rester pendant des jours en suspension dans l'air vu qu'elles sont très légères. Elles sont principalement produites par les phénomènes de combustion
Les PM <sub>1</sub>	Ce sont des particules ultrafines dont le diamètre moyen est inférieur à 1 µm.

Source : (Ramade et Masclet., 2005 ; Lacours., 2009)

### ❖ Origine

Les poussières en suspension dans l'atmosphère proviennent essentiellement de l'érosion éolienne des sols : aérosol **terrigen**e (taille supérieur de 1µm), aérosol crustal (crouete terrestre), des océans (aérosol **marin**), des volcans (aérosol **volcanique**), des feux de forêt ou de savane (aérosol de **combustion de biomasse**), et de la respiration des plantes (aérosol biogénique) (Masclet., 2005).

Les sources anthropiques (principalement des particules carbonées et métalliques émises sous forme solide) sont variées, mais l'industrie, les transports, les combustions et l'incinération des ordures ménagères prédominent. Ces estimations à l'échelle mondiale des émissions particulières doivent être utilisées avec une certaine prudence, compte tenu des difficultés liées à l'extrapolation à l'échelle du globe (Anonyme., 2001).

Une distinction entre les particules peut être faite en fonction de leur accessibilité aux différents niveaux de l'arbre respiratoire. Il est apparu récemment que les aérosols issus des activités humaines ou d'origine naturelle (éruptions volcaniques, embruns marins ...) contribuait aussi à l'effet de serre.

### ► Métaux lourds et leurs origines

Les principaux métaux toxiques sont le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), l'étain (Sn), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le vanadium (V), le zinc (Zn), le cuivre (Cu). La toxicité de ces métaux dépend de leur polymorphisme chimique, lié à leur forme et au composé minéral ou organique dans lequel ils sont incorporés.

Les principaux métaux sont les suivants :

\***L'arsenic (As)** : provient, d'une part, de traces de ce métal dans les combustibles minéraux solides ainsi que dans le fuel lourd et, d'autre part, dans certaines matières premières utilisées notamment dans des procédés comme la production de verre, de métaux non ferreux ou la métallurgie des ferreux (**Mouaci., 2002**).

\***Le cadmium (Cd)** : sa part est émise par la production de zinc et l'incinération de déchets essentiellement. Ainsi que de procédés industriels (métallurgie..).

\***Le chrome (Cr)** : provient essentiellement de la production de verre, de ciment, de la métallurgie des ferreux et des fonderies.

\***Le cuivre (Cu)** : provient majoritairement de l'usure des caténaires induites par le trafic ferroviaire. Le traitement des déchets et la combustion constituent à des degrés divers les principales sources émettrices de cuivre.

\***Le mercure (Hg)** : le mercure est le seul métal liquide à température ambiante. Il se combine très aisément avec d'autres composés et a une volatilité importante émis en quantité faible, mais toujours trop importante, par la combustion du charbon, du pétrole, la production de chlore, mais aussi par l'incinération de déchets ménagers, hospitaliers et industriels. Dans certaines fabrications (exemple du mercure pour la fabrication d'acide chlorhydrique).

\* **Le nickel (Ni)** : est émis essentiellement par la combustion du fuel lourd qui contient de traces de ce métal.

\***Le Sélénium (Se)** : provient essentiellement de la production de verre. L'utilisation du fuel lourd contribue également aux émissions du fait des traces de ce métal qu'il contient.

\* **Le Zinc (Zn)** : provient de la combustion du charbon et du fuel lourd mais aussi de certains procédés industriels appartenant à la métallurgie des ferreux et non ferreux ainsi qu'à l'incinération des déchets.

\* **Le plomb (Pb)** : Une source importante des émissions de plomb dans l'atmosphère a été le transport car le plomb a été pendant longtemps additionné à l'essence du fait de son pouvoir antidétonant. De ce fait, il contamine souvent les terrains en bordures d'axes routiers. Le plomb est émis dans l'atmosphère par le traitement des minerais et des métaux pour ce qui concerne l'industrie et, dans une moindre mesure depuis la commercialisation de carburants sans plomb, par les véhicules automobiles à essence pour ce qui concerne les sources mobiles. Dans ce dernier cas, le plomb est utilisé comme anti-détonant sous la forme de plomb tétraméthyle et de plomb tétraéthyle.

### ❖ Origine

Les métaux peuvent être présents dans les poussières émises par les foyers de combustion, la circulation automobile, les activités de fabrication et de traitement des métaux (grillage du minerai en particulier), l'incinération des déchets. Le plomb, quant à lui, provenait surtout de l'ajout d'antidétonants dans les essences destinées aux véhicules automobiles.

### 1.5.2. Les polluants secondaires

Les polluants primaires peuvent se transformer dans la basse atmosphère, sous l'action des rayons solaires et de la chaleur, en polluants dits secondaires tels que l'ozone et autres polluants photochimiques (les PAN ou nitrates de peroxyacétyl, aldéhydes, cétones, etc.). Ces composés constituent le smog photochimique, donnant naissance à ce nuage brunâtre qui stagne parfois au-dessus des grandes villes.

#### ► L'ozone (O<sub>3</sub>)

Le brouillard photochimique (smog), forme de pollution gazeuse et particulaire rencontrée dans les atmosphères ensoleillées et polluées riches en oxydes d'azote et en hydrocarbures (aldéhydes par exemple), peuvent, par réactions photochimiques, produire de l'ozone (O<sub>3</sub>) et des substances telles que l'acroléine et les peroxy-acyl-nitrates (PAN). Seuil OMS (Organisation Mondiale de Santé) : 200g/m<sup>3</sup> d'air et par heure. De telles valeurs peuvent occasionnellement être dépassées lors de journées très ensoleillées.

L'augmentation des concentrations locales de méthane et d'hydrocarbures, sous l'effet catalytique des oxydes d'azote, conduit à une production photochimique d'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>) qui contribue ainsi au « sureffet » de serre, soit directement par la capacité de l'ozone à absorber le rayonnement terrestre, soit indirectement par la neutralisation accrue des radicaux OH, incapables alors de « nettoyer » l'atmosphère de ses excédents de méthane et de monoxyde de carbone. Sa concentration dans l'air varie fortement de 0,02 à 0,1 ppm et parfois plus.

### ❖ Origine

L'Ozone est un polluant se formant sous l'effet catalyseur du rayonnement solaire à partir des polluants d'origines industrielle et automobile. On considère ici l'O<sub>3</sub> présent dans les dix premiers kilomètres de l'atmosphère, à différencier de l'O<sub>3</sub> stratosphérique (10 - 20 km) qui protège la terre des rayons ultraviolets du soleil et constituant la couche d'O<sub>3</sub>.

On peut l'obtenir sous l'action du rayonnement ultraviolet sur l'oxygène en présence de NO<sub>x</sub> et COV. L'ozone se décompose lentement, mais il constitue en même temps un agent oxydant puissant,

qui pourra affecter beaucoup de matières organiques. Il intervient dans beaucoup d'applications industrielles dont le blanchiment et la stérilisation (**Boussaboua, 2010**).

#### ► Peroxy-acyl-nitrates (PAN)

Ils se forment dans les atmosphères urbaines par réactions photochimiques complexes entre divers polluants : oxydes d'azote, ozone et hydrocarbures imbrulés rejetés dans l'air par chaufferies industrielles ou domestiques ainsi que par les échappements des véhicules à moteur à explosion. Les PAN sont plus fréquents dans les villes à climat méditerranéen et tempéré. Ce sont des composés organiques du groupe des photo-oxydants qui se forment dans les environnements urbains des régions chaudes et ensoleillées.

## 1.6. Sources de polluants atmosphériques

### 1.6.1. Sources naturelles

L'atmosphère contient une quantité variable de substances, gaz et aérosols, d'origine naturelle provenant de sources extrêmement diverses. Poussières et gaz d'origine volcanique, ainsi sur environ 1500 volcans actifs actuellement, il se produit en moyenne une soixantaine d'éruptions volcaniques terrestres par an, auxquelles s'ajoutent de très nombreuses éruptions sous-marines. L'Etna par exemple émet en moyenne 3000 tonnes de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) par jour et jusqu'à 10000 tonnes en période de forte activité (**Elishegaray., 2008**).

Bien que mineurs en comparaison à la pollution anthropique, les aérosols volcaniques peuvent avoir des effets importants, tant au niveau de la pollution régionale à proximité du volcan qu'au niveau de la pollution globale dont les conséquences intéressent la totalité de l'atmosphère terrestre.

Les feux de forêts, aggravés en saison sèche, ont un impact considérable sur l'atmosphère et également les plantations brûlées par les agriculteurs. Les poussières sont aussi dues à l'érosion du sol et de sels marins. En effet les poussières désertiques transportées par les vents en haute altitude peuvent arroser et ensemercer toute la planète. Des chercheurs estiment que 800 millions de tonnes de poussières se déposent chaque année sur l'ensemble de la planète, soit 1600 fois les émissions française de poussière mentionnées par l'Institut français de l'environnement (**Ngô et Régent., 2008**).

Les végétaux sont aussi à l'origine d'émission de produits naturels tels que les terpènes, pollens, et les spores. Les grains de pollens peuvent être dispersés grâce à l'action des insectes et du vent, et fécondé ainsi d'autres fleurs. Les autres sources de pollution naturelle, la foudre, les algues à la surface des océans qui émettent du sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S). Des zones humides et les marais la végétation en se décomposant produisant ainsi du méthane (CH<sub>4</sub>).

Quand aux émissions animales sont des fermentations de bactéries ainsi que la respiration. Les émissions d'origine naturelle peuvent difficilement être qualifiées de pollution. Elles sont néanmoins importantes dans la mesure où les quantités émises peuvent être si considérables qu'elles perturbent les cycles biologiques.

## **1.6.2. Sources anthropogènes**

### **1.6.2.1. Industrielle**

Depuis que l'homme s'est sédentarisé, il y a environ 10000 ans, les villes ont commencé à se développer. Maintenant, une plus grande proportion de personnes vit dans les villes et les villages que dans les campagnes, et cette tendance s'accroît (croissance trois fois plus rapide de la population des villes). On estime d'ici une vingtaine d'années près de 70% de la population mondiale vivra dans les villes (contre 50% en 2008). Cette proportion atteindra les 80% pour les pays développés. La concentration d'un grand nombre d'habitants en un même lieu conduit à une forte demande énergétique et à la production de grandes quantités de déchets et de rejet (**Ngô et Régent., 2008**), (Tab. 3).

La pollution de l'air est la résultante de multiples facteurs : croissance de la consommation d'énergie, développement des industries extractives, métallurgiques et chimiques, de la circulation routière et aérienne, de l'incinération des ordures ménagères, des déchets industriels, ainsi que la production et l'utilisation d'énergie.

Les Chlorofluorocarbones ou CFC qui sont des dérivés halogénés essentiellement liés aux activités humaines, ils sont par exemple utilisés comme propulseurs dans les bombes aérosols, liquides réfrigérants, agents de fabrication de mousses de polymères, solvants pour l'électronique.

**Tableau 3 : Source anthropique des Principaux Polluants de l'air ambiant**  
(Ngô et Régent., 2008)

Polluants atmosphériques	Origines
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>■80% industrie</li> <li>■10% résidentiel et tertiaire et chauffage urbain</li> </ul>
Dioxyde d'azote(NO <sub>2</sub> ) (diminution de 40% en 15ans)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■50% transport routier</li> <li>■25% industrie</li> <li>■5% résidentiel et tertiaire et chauffage urbain</li> </ul>
Monoxyde de carbone (CO) (diminution de 75% en 15 ans)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■30% résidentiel et tertiaire Et chauffage urbain</li> <li>■30% transport routier</li> <li>■30% industrie</li> </ul>
Ozone (O <sub>3</sub> ) (doublement en 15ans)	■Polluant secondaire résultant de la transformation photochimique de certains polluants (NO <sub>x</sub> COV) en présence de rayonnement solaire (UV)
Particule en suspension (Stabilité ou augmentation des taux de poussières)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■10 à 30% secteur résidentiel et tertiaire</li> <li>■15% transport routier</li> <li>■30% industrie</li> <li>■30% à 40% secteur d'agriculture</li> </ul>
Composés organiques Volatils (COV) (diminution de 80% du benzène grâce aux progrès sur les carburants)	Transport routier, industrie, et usage de solvant

Ceux qui contiennent du chlore ou du brome, tenus comme responsables de la diminution de la concentration en ozone de la stratosphère, contribuent puissamment à l'effet de serre.

#### 1.6.2.2. Trafic routier

Les activités humaines, tout comme les processus naturels modifient les milieux où ils se déroulent. A travers l'air (poussière et gaz) et l'eau que les risques sont souvent les plus présents. Depuis 20 ans, la pollution industrielle a baissé de 45 à 65 %, la pollution due aux transports a augmenté de plus de 30 %, la cause principale étant l'accroissement du trafic automobile.

En 2005, près de 890 millions de véhicules parcouraient la planète (**Anonyme., 2005**). En 2007, le milliard était dépassé. De 1955 à 2005, en 2009, plus de 61 millions de véhicules. La production automobile mondiale a atteint un record en 2011 avec 80,1 millions d'unités fabriquées (Organisation internationale des constructeurs automobiles (OIAIC). Depuis 2011, l'Asie est désormais le premier continent producteur, avec 40,6 millions d'unités fabriquées dont 18,4 millions en Chine, le premier pays producteur mondial. Elle est suivie par les Amériques (17,8 millions d'unités) et l'Europe (17,7 millions de véhicules). Selon les Nations Unies, le parc automobile mondial devrait tripler d'ici 2050 alimenté à 80% par les économies en développement.

Aujourd'hui dans les villes, la pollution d'origine industrielle a cédé la place à une pollution plus diffuse et plus proche des populations, liée aux transports, Ce dernier est actuellement un des secteurs les plus importants d'émission de polluants, notamment pour les NO<sub>x</sub> et les COV qui, sous l'effet de l'ensoleillement, produisent une pollution dite photochimique (mesurée par l'ozone), source majeure de pollution en zone urbaine et périurbaine. Les transports routiers (voiture, camions ; autobus ...) contribuent fortement à la pollution. Les principaux polluants émis par les véhicules motorisés sont : l'oxyde de carbone (CO), les hydrocarbures imbrulés (H C), les oxydes d'azotes (NO et NO<sub>2</sub>) désigné sous le signe(NO<sub>x</sub>) et, pour les véhicules diesels; les particules. Les composés organiques volatiles et des chlorofluorocarbones (CFC) (**Deletraz., 1998**). A Londres par exemple ; les véhicules à moteurs sont responsables de 74% des émissions d'oxydes d'azote et de 94% des fumées noires émises (**Deletraz., 2000**). Les transports sont responsables de près de 20% des émissions équivalent CO<sub>2</sub> (**AEE., 2009**). Même si la moyenne européenne des émissions de CO<sub>2</sub> sur les voitures a baissé de 25 g/km en 10 ans, cela ne suffit pas à compenser l'augmentation régulière du nombre de véhicules en circulation.

D'une manière générale, le transport routier représente 69 % des émissions de NO<sub>x</sub> (oxydes d'azote), 64 % des émissions de CO (monoxyde de carbone) ,33 % des émissions de particules en suspension et 33 % des émissions de CO<sub>2</sub> (gaz carbonique).

Pour (**Deletraz., 1998**), il existe des polluants dites des polluants traceurs des rejets automobile, appelé aussi polluant marqueurs caractéristique de pollution routière. Leur présence dans l'écosystème permet de détecter le dépôt et le cheminement de cette pollution.

Les polluants indicateurs de pollution automobiles sont les suivants :

- ❖ Les oxydes d'azote
- ❖ Le benzene ;

- ❖ Steranes et triperpanes pentacycliques ;
- ❖ Le plomb ;
- ❖ Les Hydrocarbures Aromatique Polycyclique (HAP).

Les quantités de polluants rejetées par chaque véhicules sont appelées « émission unitaire ». Elles sont sous l'influence d'un ensemble de facteurs qui sont :

- ❖ **Type de véhicule :** véhicule particulier (VP), véhicule utilitaire (VU), poids lourd (PL) et catégorie à deux roues.
- ❖ **Variations entre les carburants et les diverses technologie :** en ce qui concerne les carburants, les moteurs diesels, moteur à essence et la climatisation des véhicules.
- ❖ **L'état du véhicule et son entretien :** l'âge du véhicule joue un rôle très important ainsi que son entretien.
- ❖ **Niveau de chargement du véhicule :** un véhicule chargé émet une plus grande quantité de polluants puisque sont moteurs doit développer pour atteindre une vitesse plus de puissance que lorsque le véhicule est vide.
- ❖ **Condition de circulation :** elle concerne essentiellement les phases d'accélération, de décélération et la durée des arrêts aux feux. Mais la vitesse du véhicule reste l'une des conditions les plus importantes d'émissions de polluants.
- ❖ **Route :** elle constitue une variable très importante d'émission de polluants mais deux paramètres sont pris en considération : l'altitude et la pente.
- ❖ **Facteurs climatiques :** la température de l'air joue un rôle important puisqu'elle conditionne la durée qu'il faudra au moteur pour atteindre (70°C) lors du démarrage à froid. Le vent, en ralentissant ou en facilitant le déplacement des véhicules constitue autre paramètre influençant les émissions de polluants.

Enfin l'ensoleillement par les rayons UV est déclencheur de la chimie atmosphérique à l'origine de la formation de polluant secondaires, dont l'ozone (**Deletraz., 1998**)

Dans les pays qui ont adopté des législations et des mesures visant à réduire l'utilisation de l'essence sans plomb imposent le pot catalytique aux voitures, le taux de plomb et de gaz toxiques dans l'air a été réduit dans une proportion de 90 à 95 % (**Baklini.,1999**). L'Algérie est loin d'être en avance dans ce domaine et le problème, notamment dans les grandes agglomérations tel que Oran (**Rahal., 2005**), Skikda (**Alioua et al 2008**) ; Annaba (**Maizi et al., 2010**), ainsi que Constantine (**Amri., 2007**) qui reste en question avec l'installation de nouvelle infrastructure dont l'autoroute Est-Ouest est la plus importante.

La pollution de l'air, quelle que soient les échelles d'espace et de temps auxquelles nous nous intéressons, fait partie de l'environnement de l'homme. Aussi la compréhension de ses mécanismes et de ses effets nécessite une prise en compte de facteurs techniques et humains qui mobilise des disciplines très variées : physico-chimie, biologie, épidémiologie, toxicologie mais aussi économie, sociologie, psychologie, anthropologie, géographie. Selon des études, la demande en transport augmente avec le développement économique ainsi on compte plus de 3.6 % dans les pays en voie de développement et 1.6 % dans les pays industrialisées en 2020 (**Bang Ho., 2010**).

Parmi toutes les sources de pollution, le trafic routier est la principale source de pollution de l'air dans les villes. Malheureusement, les modèles disponibles actuellement pour quantifier ce type d'émissions exigent à la fois beaucoup d'efforts, d'argent et de temps. Ils font obstacles à l'étude et à la gestion de la qualité de l'air.

Par conséquence, de nouvelles stratégies pour améliorer la qualité de l'air sont extrêmement difficiles à appliquer. Il est donc nécessaire de développer une nouvelle méthodologie pour quantifier les émissions du trafic routier afin de gérer la qualité de l'air d'une manière plus efficace (**Bang Ho., 2010**).

### **1.6.2.3. L'agriculture**

Selon l'organisation caritative britannique Christian Aid : entre 2005-2050, au moins 1 milliard de personne devront abandonner le lieu où elles vivent en raison de problème liés à l'environnement. Effectivement, suite à la pollution de l'air des campagnes, le milieu urbain est presque devenu pour l'espèce animale plus accueillante que les villages et les champs.

Les données actuellement disponibles permettent de constater la présence de pesticide dans toutes les couches atmosphérique. On constate que le secteur agricole est l'un des émetteurs de polluants atmosphérique dont les gaz à effet de serre. En France le secteur agricole est responsable d'une partie de la pollution atmosphérique, près de 20% du total d'émission, par l'utilisation de machines, mais aussi à cause du recours aux produits phytosanitaires ou aux épandages (émission d'ammoniac), ainsi l'agriculture est à l'origine de 98% des émissions atmosphériques d'ammoniac qui, en retournant au sol avec les pluies participent fortement aux phénomènes de l'acidification et l'eutrophisation des milieux aquatiques. Le méthane par exemple provient d'une grande partie des élevages de ruminants (**Gallon et Flatrès., 2008**).

En Algérie, la pollution d'origine agricole par lessivage, est aussi importante en raison de l'utilisation de milliers de tonnes d'engrais chimiques (phosphates, ammonitrates, et potasse). A Constantine par exemple, le problème de la pollution par les nitrates est plus accentué dans les zones des hautes plaines où la pratique de l'irrigation (cultures maraîchères) est de plus en plus intensifiée ces dernières années (Amri., 2007).

### **1.7. Echelles d'émission de polluants atmosphériques**

Les phénomènes de pollution atmosphérique concernent différentes échelles. A chaque échelle, les polluants qui ont un impact ne sont pas identiques, ils diffèrent notamment par leur durée de vie dans l'atmosphère et leur dynamique physico-chimique.

Lorsqu'une fraction des polluants retombe dans un faible rayon autour du point d'émission, on dit qu'on a une pollution d'ordre locale. Mais le reste des polluants en se dispersant dans la basse couche de l'atmosphère, provoquant ainsi une contamination atmosphérique à l'échelle régionale. Ces polluants peuvent pénétrer dans les couches plus élevées de l'atmosphère à la faveur de mouvements ascendants, ils sont susceptibles de parcourir des distances allant jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres. On parle alors de pollution atmosphérique transfrontière. (Foan., 2012).

#### **1.7.1. Echelle local**

La pollution dite de proximité est principalement due à des sources fixes (panache industriel ou résidentiel) ou mobiles (échappements dus au trafic routier). Elle est souvent associée à des phénomènes perceptibles par la vue ou l'odorat, et les polluants en jeu ont une durée de vie assez courte dans l'atmosphère. Dans le cas d'activités denses, les niveaux de pollution élevés peuvent couvrir des agglomérations entières.

#### **1.7.2. Echelle régional**

Les pollutions urbaines ou industrielles peuvent parcourir des distances importantes et impacter les banlieues des agglomérations ou même le milieu rural. Cela concerne particulièrement les polluants dits « secondaires » comme l'ozone (phénomène de pollution photochimique) ou encore les retombées sous forme de pluies acides. Ces retombées peuvent être observées à plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres de leur lieu d'émission.

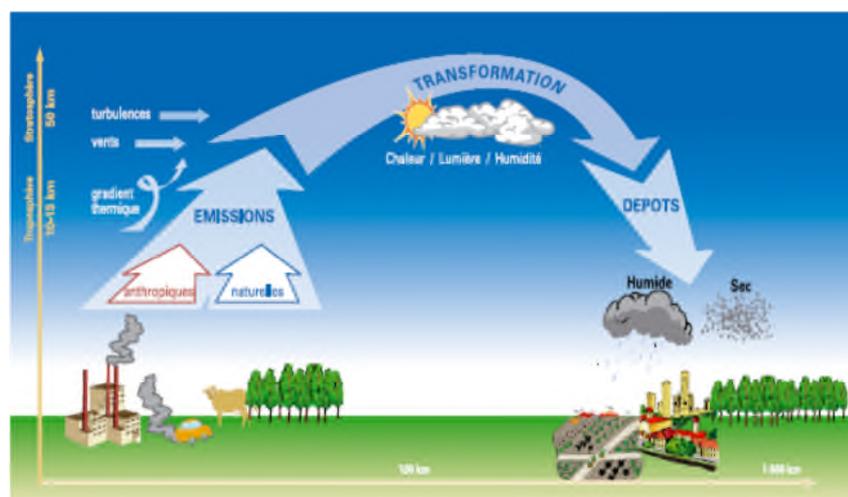
### 1.7.3. Echelle planétaire

A cette échelle, Deux phénomènes principaux de pollution ont été mis en évidence, la destruction de l'ozone stratosphérique, ou « trou » dans la couche d'ozone. Le réchauffement ou dérèglement climatique, du à l'augmentation des gaz à a effet de serre d'origine humaine. A cette échelle, le lieu d'émission importe peu : tous les composés émis vont s'accumuler dans l'atmosphère et y persister pendant plusieurs dizaines voire centaines d'années en participant aux impacts planétaires.

### 1.8. Phénomène d'émission et transport de Polluants Atmosphériques

L'intensité des émissions des polluants atmosphérique dépend de la propagation, du type de source d'émission et des conditions météorologiques. Une proportion élevée des composés émis reste proche de la source, mais certains composés peuvent voyager à des milliers de kilomètres. En général, les composés soufrés et azotés sont diffusés dans l'atmosphère sous forme de gaz, alors que les métaux lourds se fixent à des particules. En règle générale, les métaux qui ont une densité supérieure à  $4,5 \text{ g.cm}^{-3}$  sont appelés métaux lourds (Wittig., 1993).

Les polluants atmosphériques peuvent affecter les plantes et les écosystèmes à différents niveaux dans leur fonctionnement. On distinguera les effets directs induits par une absorption du polluant par la plante ou un dépôt à sa surface, et les effets indirects liés à une modification du milieu dans lequel la plante se développe, sol ou atmosphère, (Fig.5).



**Figure 5 :** Emission, Transport et Dépôt des polluants (source : ADEME).

En outre, l'impact de la pollution sur le fonctionnement des écosystèmes est souvent localisé, mais peut concerner des grandes étendues à l'échelle régionale, voire continentale.

Les échelles de temps concernées vont de l'épisode de pollution (quelques jours) jusqu'à des échelles pluriannuelles.

## 1.9. Impact de polluants atmosphériques

### 1.9.1. Impact sur l'environnement

#### 1.9.1.1. Impact sur la végétation

L'impact de la pollution de l'air sur les végétaux résulte essentiellement de trois polluants : oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) et l'ozone ( $\text{O}_3$ ). Il se traduit par une réduction de la croissance des plantes sans dommages apparents, et des nécroses visible en cas de fortes concentrations de polluants ou une résistance amoindrie à un certains agents infectieux (DGAC., 2003). Au niveau régional, les polluants atmosphériques participent à la formation de pluies acides qui contribuent au dépérissement des forêts et à la dégradation des sols.

La pollution atmosphérique représente des dommages qui peuvent se manifester en plusieurs façons, (Fig.6). Ils peuvent apparaître rapidement sur le feuillage, sous la forme de lésions nécrotiques (tissus morts). Ils peuvent aussi être lents à se manifester et entraîner le jaunissement ou la chlorose de la feuille. On peut aussi remarquer un ralentissement de croissance au niveau de différentes parties de la plante. Il arrive que les plantes meurent tout de suite, mais la mort se produit habituellement après des attaques répétées (Griffiths., 2003). L'effet de la pollution sur la végétation dépend en premier lieu de la concentration du polluant, de la durée d'exposition, ainsi que l'espèce végétal affectée et son stade de croissance (Martin., 2006 cité par Catinon., 2010).



**Figure 6 :** Impact des polluants atmosphériques sur les plantes (A, B)

(A) : Poussière de ciment (Pommier)

(B) : Fluorures (Blessures des feuilles de prunier)

La pénétration des polluants s'effectue par deux voies l'une est aérienne et l'autre est racinaire (par le sol). Les particules métalliques par exemple, elles se déposent à la surface des feuilles, et ne pénètrent pratiquement pas à l'intérieur, elles peuvent être facilement lavées, soit de façon naturelle par la pluie, soit artificiellement. Flanagan et ses collaborateurs en 1980, ont prouvé qu'il est impossible d'éliminer tout le plomb et le zinc de la surface de feuilles de rhododendrons exposés en bordure de route à la circulation automobile, qu'on utilise le  $\text{NH}_4\text{-EDTA}$  qui est un chélateur très puissant. Le résultat obtenu par un lavage avec  $\text{NH}_4\text{-EDTA}$  est identique à celui qu'ils obtiennent lorsqu'ils effectuent un arrachage d'épiderme. Le plomb associé à la végétation, ainsi que le zinc, sont donc présents en tant qu'enduits inertes et dépôts superficiels (Délétraz., 1998). La rugosité, le caractère lipophile des cires épicuticulaires et la présence d'eau sont autant de paramètres permettant de capter les polluants particuliers et gazeux. Une fois accumulés sur la structure lipidique, les polluants pénètrent dans les tissus foliaires et seront métabolisés, stockés ou éliminés suivant les mêmes conditions que les polluants intégrés par voie stomatique (Garrec., 2010), (Tab.4).

**Tableau 4 :** Impact des polluants atmosphériques sur la végétation.

(Griffiths., 2003 ; Ramade., 2005 et Kebiche., 2006)

Polluants atmosphériques	Symptômes des polluants sur les végétaux
Anhydride sulfureux ( $\text{SO}_2$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>● nécroses entre les nervures de la feuille;</li> <li>● Inhibition de la photosynthèse en raison de l'augmentation de la perméabilité des membranes cellulaires et de la perte d'ions indispensables comme le potassium;</li> <li>● Substitution du dioxyde de carbone (<math>\text{CO}_2</math>) par le <math>\text{SO}_2</math> dans la fixation photosynthétique ;</li> <li>● Inactivation d'enzymes indispensables ;</li> <li>● disparition d'espèces sensibles : pin sylvestre ;</li> <li>● Diminution de la productivité forestière ;</li> <li>● perturbe la floraison de certaines plantes (vigne, blé...) et diminue leurs rendements ;</li> <li>● Jaunissement (d'ocre clair ou presque blanc à rouge orangé ou brun) des feuilles et leurs chutes prématurées.</li> </ul>
$\text{NO}_x$	<ul style="list-style-type: none"> <li>● diminution du rendement des plantes (cultivées) ;</li> <li>● formation de zones nécrotiques irrégulières et décolorées sur les deux faces des feuilles;</li> <li>● Des stries nécrotiques internervales rougeâtres ou une décoloration sombre de la face supérieure des feuilles (graminées).</li> </ul>

Suite du tableau (4)

Polluants atmosphériques	Symptômes des polluants sur les végétaux
Ozone (O <sub>3</sub> ) et les autres photo- oxydant (PAN, éthylène)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Nécroses importantes chez les végétaux se traduisant par l'accélération de la sénescence ;</li> <li>● Réduction de la photosynthèse chez les végétaux chlorophylliens ;</li> <li>● Feuillage devient bronze ou décoloré, en cas de PAN une teinte argentée vitreuse ou métallique à la face inférieur du limbe foliaire ; foliaires ;</li> <li>●Défoliation totale de la plante.</li> </ul>
Les particules (poussière de ciment, les métaux, la chaux dolomitique en poudre et la suie carbonique)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Nuisance à la respiration normale à la feuille ;</li> <li>●Perturbation des mécanismes de la photosynthèse à l'intérieur de la feuille ;</li> <li>● Chlorose et la mort des tissus foliaires par la combinaison d'une croûte épaisse et de la toxicité alcaline produite par temps humide ;</li> <li>●les éléments émis se fixent sur les sites chargés extracellulaires (pariétaux et membranaires, généralement des groupes carboxyliques).</li> </ul>
Fluore	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ralentir la croissance de certaines plantes (pin sylvestre, épicéa, prunier, poireau...);</li> <li>● Inhiber les fonctions d'assimilation et de reproduction chez les plantes.</li> <li>● perturber le développement des organes (en agissant sur l'hormone de croissance (l'auxine) ;</li> <li>●Nécroses et la chute des feuilles ou des aiguilles ;</li> <li>●Carence en sels minéraux chez les plantes en bloquant le calcium et le magnésium sous forme de complexes insolubles ;</li> </ul>

### 1.9.1.2. Impact sur les animaux

L'intoxication par le fluore se traduit par des troubles de gravité croissante chez les ruminants. Les premiers symptômes sont de nature dentaire où les dents deviennent moins résistantes, des déformations osseuses, des nécroses des reins, des lésions du tube digestive et enfin une cachexie progressive des animaux contaminées (**Ramade., 2005**).

Une étude faite sur des lièvres à proximité d'une autoroute en Prague –Brno (ex Tchécoslovaquie) a démontré que les poils de cette espèce contiennent 3 fois plus de plomb (**Deletraz., 1998**).

### 1.9.1.3. Le dérèglement climatique

L'effet de serre est un phénomène naturel qui a permis l'apparition et le développement de la vie sur terre. Sans ce mécanisme, la température moyenne sur terre serait de -18°C au lieu de +15°C. Ce sont les gaz à effet de serre qui "piègent" les rayonnements que la terre émet après avoir été chauffée par le soleil.

Le réchauffement ou dérèglement climatique observé depuis environ 150 ans, est une amplification de ce phénomène. Celle-ci est attribuée à l'augmentation des concentrations de ces gaz dans l'atmosphère principalement du fait de l'activité humaine. Nous rejetons en effet beaucoup de ces composés, que ce soit dans l'industrie ou l'agriculture mais aussi par nos déplacements et notre consommation d'énergie et de matière en général. La moindre émission participe au réchauffement global puisqu'il s'agit d'une évolution à l'échelle planétaire avec des composés qui s'accumulent dans l'atmosphère pendant des années. Le principal gaz à effet de serre est le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) qui est rejeté par toute combustion de matière organique ou fossile et par certains procédés industriels.

D'autres composés participent de façon importante au phénomène :

- Le méthane CH<sub>4</sub> (principalement émis par la décomposition des déchets, l'agriculture et l'industrie)
- Le protoxyde d'azote

### **1.9.2. Impact sur la santé humaine**

L'impact de la pollution dépend essentiellement du type et de la concentration des différents polluants, de la durée d'exposition à ces polluants, ainsi que de l'état de santé et de la morphologie des populations exposées (**Martin., 2006 cité par Catinon., 2010**). Les effets néfastes de la pollution atmosphérique ont été mis en évidence par des études épidémiologiques. Ils sont cohérents avec les travaux toxicologiques. Ces effets sont classés en deux groupes :

► **Les effets à court terme** : se sont des manifestations cliniques, fonctionnelles ou biologiques survenant dans des délais brefs (quelques jours ou semaines) suite aux variations journalières des niveaux ambiants de pollution atmosphérique.

► **Les effets à long terme** : qui peuvent survenir après une exposition chronique (plusieurs mois ou années) à la pollution atmosphérique et qui peuvent induire une surmortalité et une réduction de l'espérance de vie.

D'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la pollution atmosphérique dans les grandes villes cause la mort de plus de 2 millions de personnes par an dans les pays en voie développement. De plus, des millions de personnes souffrent de différentes maladies respiratoires. L'exposition à long terme aux particules fines conduit à un risque accru de cancer du poumon et à une augmentation du risque de décès toutes causes et plus spécifiquement par maladies cardio-respiratoires.

Le risque n'est pas grand au niveau individuel (par rapport au tabagisme), la forte proportion de personnes exposées et l'absence de seuil d'innocuité font de la pollution atmosphérique (urbaine) un problème majeur de santé publique ainsi que l'illustrent les évaluations d'impact sanitaire réalisées à ce jour (Laid et al., 2011).

Des études récentes ont fait apparaître que l'inhalation de particules de petites tailles (< 10 µm) permettait d'atteindre les alvéoles pulmonaires et en altérait gravement le fonctionnement (Yamani., 2005). Sur ce point, il a aussi été démontré que les nanoparticules (0,010 à 0,056 µm) contiennent plus d'éléments métalliques dus au trafic (Pb, Cd, Cu, Zn, Br et Ni) que les autres (Lin et al., 2005 Cité par Yamanie., 2009 ), (tab. 05).

**Tableau 5 : Une vue récapitulative de l'Impact des polluants atmosphérique sur la santé humaine (Yamanie., 2005 ., Rahal., 2009 et Rahal., 2005).**

Les polluants	Effets sur la santé	Les risques en chiffres
Oxyde d'azote (NO, NO2)	Un gaz irritant qui pénètre dans les plus fine Ramifications des voies respiratoires, entraînant une hyperréactivité bronchique chez les patients asthmatiques et un accroissement de la sensibilité des bronches Aux infections chez l'enfant. Irritation des branches chez un publique sensible.	-600 à 1 100 décès par cancer du poumon (6 % à 11 % de la mortalité par cancer du poumon).
Particules en suspension (PM <sub>10</sub> )	Les plus grosses particules sont retenues par les voies respiratoires supérieures. Elles sont moins nocives pour la santé que les particules plus fines (<10 µm de diamètre) qui pénètrent plus profondément dans l'organisme : elles irritent la fonction respiratoire dans l'ensemble. Selon leur nature, elles ont également des propriétés mutagènes et cancérigènes.	-3 000 à 5 000 décès par maladie cardiorespiratoire (5 % à 7 % de la mortalité de cette nature).  -Un total de 6 000 à 9 000 Décès (soit 3 % à 5 % de la mortalité totale pour la population concernée).
Monoxyde de carbone (CO)	Il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins.	- diminution de l'espérance de vie : 100 000 décès et 725 000 années de vie perdues par an sont attribuables à l'exposition aux particules fines.
Composées organiques volatils (COV) dont Le benzène	Ces molécules ont des effets très divers selon leur famille. Du simple gêne olfactif (odeur), certains provoquent une irritation (aldéhydes), une diminution de la capacité respiratoire. D'autre, comme le benzène, provoquent des effets mutagènes et cancérigènes. Diminution de la fonction respiratoire.	

Suite du Tableau (5)

Les polluants	Effets sur la santé	Les risques en chiffres
Métaux lourds (Pb, Cd, Ni, Hg, As, ...)	<p><b>Cadmium</b> : Lésions rénales, pulmonaires,</p> <p><b>Nickel</b> : Cancer du poumon</p> <p><b>Plomb</b> : neuropathie et encéphalopathie</p> <p><b>Vanadium</b> : Irritation des yeux, des voies nasales, des bronches.</p> <p><b>Manganèse</b> : Lésions pulmonaires, problèmes neurologiques.</p> <p><b>Arsenic</b> : entraîne des problèmes dermatologiques, gastro-intestinaux, neurologiques et hématologiques.</p>	<p>-Un total de 6 000 à 9 000 Décès (soit 3 % à 5 % de la mortalité totale pour la population concernée).</p> <p>- diminution de l'espérance de vie : 100 000 décès et 725 000 années de vie perdues par an sont attribuables à l'exposition aux particules fines.</p>
Polluant biologique (pollen)	Allergie et asthmes	

### 1.10. Cadre Juridique de lutte contre la pollution atmosphérique

L'accumulation dans l'atmosphère de certains gaz produits par les activités humaines est susceptible d'entraîner à long terme d'importantes modifications du climat et de compromettre la pérennité de la biosphère. En conséquence, la protection de l'environnement contre les polluants atmosphériques à l'échelle globale nécessite une action internationale et nationale à l'échelle régionale ou locale.

#### 1.10.1. Cadre international

##### ► Protocole de Göteborg

Le 1er décembre 1999, la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-NU) a obtenu de 26 pays européens, dont la France, qu'ils s'engagent à respecter, dans le cadre du protocole de Göteborg, des plafonds d'émissions afin de réduire les impacts de la pollution atmosphérique sur la santé et l'environnement : les émissions de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>), responsables de l'acidification et de l'eutrophisation, et les émissions de composés organiques volatiles (COV), qui avec les NO<sub>x</sub>, donnent naissance à l'ozone.

##### ► Protocole de Montréal

Le Protocole de Montréal est un accord international visant à réduire de moitié les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Il a été signé par 24 pays et par la Communauté économique européenne en septembre 1987. Il impose la suppression de l'utilisation de CFC (chlorofluorocarbones) et de halons. Le calendrier d'élimination progressive est initialement prévu pour les pays développés concernant les polluant suivant : halons, Chlorofluorocarbones (CFC), Méthyle chloroforme, et le tétrachlorure.

Ce protocole concerne aussi d'autres polluants qui sont des produits de consommation tel que : hydrochlorofluorocarbones(HCFC), et le bromure de méthyle où sa réduction complète était prévue en l'an 2005. La production du bromochlorométhane était strictement interdite à compter du 1 Janvier 2002.

#### ► **Protocole de Kyoto**

En décembre 1997, à l'issue de la troisième réunion des pays signataires de la convention de Rio (1992), 38 pays industrialisés se sont engagés à réduire les émissions de six gaz à effet de serre en signant le Protocole de Kyoto : CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>. Ces pays industrialisés se sont engagés sur une réduction de leurs émissions de 5,2% en moyenne entre 2008 et 2012 par rapport à 1990. Les pays en développement sont exemptés d'engagements chiffrés afin que leur développement ne soit pas remis en cause.

#### ► **Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE)**

Créé en 1972, le PNUE est la plus haute autorité environnementale au sein du système des Nations Unies. Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (United Nation for Environment Program) joue le rôle de catalyseur, de défenseur, d'instructeur et de facilitateur œuvrant à promouvoir l'utilisation avisée et le développement durable de l'environnement mondial. A cette fin, le PNUE collabore avec de nombreux partenaires, dont des organes des Nations Unies, des organisations internationales, des gouvernements nationaux, des organisations non gouvernementales, le secteur privé et la société civile.

### **1.10.2. Cadre Juridique national**

La dégradation de l'état de l'environnement est marquée par la pollution urbaine ainsi que la pollution industrielle. Menaçant la santé des citoyens et le cadre de vie général. Aujourd'hui elle fait partie de notre préoccupation majeure. L'état algérien s'est investi pour lutter contre cette pollution par la mise d'une réglementation afin de contrôler l'émission des polluants et suivre leurs impacts (**Journale Officiel Algerien., 2006**), (Annexe.1).

### **1.10.3. Réseaux de surveillance de la qualité de l'air**

Les polluants contribuent à l'augmentation des problèmes respiratoires (asthme et autres pathologies respiratoires), favorisent le dépérissement végétal (pluies acides) et dégradent les bâtiments (encrassement des façades et oxydation des parties métalliques). Pour remédier à cela, la réglementation européenne a fixé des valeurs limites pour les principaux polluants.

Au niveau français, la loi sur l'air a obligé les collectivités à mettre en place des dispositifs de surveillance de la qualité de l'air, obligation étendue sur l'ensemble du territoire depuis le 1er janvier 2000. Ces dispositifs permettent de surveiller en temps réel les niveaux de pollution et de déclencher les mesures nécessaires afin d'y remédier (**El yamani., 2006**).

En Algérie, pour le contrôle de la qualité de l'air, le ministère chargé de l'environnement a mis en place un réseau de surveillance de la qualité de l'air et de mesure de la pollution. Actuellement l'installation de ce réseau a été réalisée dans quatre wilayas : Alger, Annaba, Skikda et Oran.

► **ALGER**: Un réseau composé de 4 stations reliées à un poste central.

► **ANNABA (SAMA SAFIA)**: Un réseau composé de 4 stations reliées à un poste central.

► **ORAN (ORANAIR)**: Un réseau composé de 3 stations ((**Rahal., 2005.,2009** )

► **SKIKDA**: Un réseau composé de 3 stations.

Nous devons veiller à une meilleure application des traités environnementaux en vigueur. Des mécanismes d'arbitrage sont parfois prévus, dans les conventions pour assurer leur bonne application. On doit pouvoir compter sur l'opinion publique mondiale et les groupements qui l'expriment, comme l'a déclaré la charte mondiale de la nature, adoptée et solennellement proclamée par l'assemblée Générale des Nations Unis le 28 Octobre 1982 qui énonce les grands principes de conservations :

« Il incombe à chacun d'agir en conformité avec les dispositions de la présente charte, chaque personne agissant individuellement en association avec d'autres personnes ou au titre de sa participation à la vie politique, s'efforcera à assurer la réalisation des objectives et autres dispositions de la présente charte ». (**Amrani., 2007**).

## Chapitre 2. Bio-surveillance de la qualité de l'air

### 2.1. Introduction

La bio-surveillance est définie comme l'utilisation à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour en suivre l'évolution (**Garrec et Van Haluwyn., 2002**). Elle utilise des êtres vivants, pour mettre en évidence les modifications de l'environnement dans lequel ils sont placés (**Cuny., 2012**). Les méthodes de bio-surveillance fournissent des informations sur la quantité de polluants ainsi que leurs effets sur les organismes en contact. C'est un bon outil pédagogique de visualiser l'action agressive d'un polluant sur l'environnement et un moyen d'aborder ses impacts sanitaires. (**Markert et al., 2003 cité par Catinon., 2010 et Desrosières., 2003**).

Actuellement, on a besoin d'outils capables d'aborder de manière aussi globale et intégrée que possible le problème de pollution, dans le souci d'améliorer les connaissances et contrôler des phénomènes mis en cause. Le développement de la **bio-indication** ouvre ainsi la voie à une surveillance plus large et écologique, intégrant les effets sur l'environnement grâce à des organismes sentinelles (**Anonyme., 2005**).

### 2.2. Définition de la bio-indication

Les indicateurs biologiques ou bio-indicateurs sont des espèces sensibles, inféodées à un milieu suffisamment restreint pour le caractériser, ou à un état d'un des facteurs du milieu, qu'ils permettent d'identifier par leur apparition ou disparition, informe, sur les conditions du milieu et des dangers potentiels de pollution et permettent ainsi d'apprécier une modification de la qualité d'un milieu. Les bio-indicateurs sont des espèces ou des associations d'espèces qui par leur comportement général (variation en nombre, disparition, etc.) sont capables de rendre compte de l'évolution générale d'un milieu.

Blandin (1986) donnait au **bio-indicateur** la définition suivante : « Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui - par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques - permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées » (**Anonyme., 2005**).

Alors que **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) ».

### 2.3. Niveau d'indication

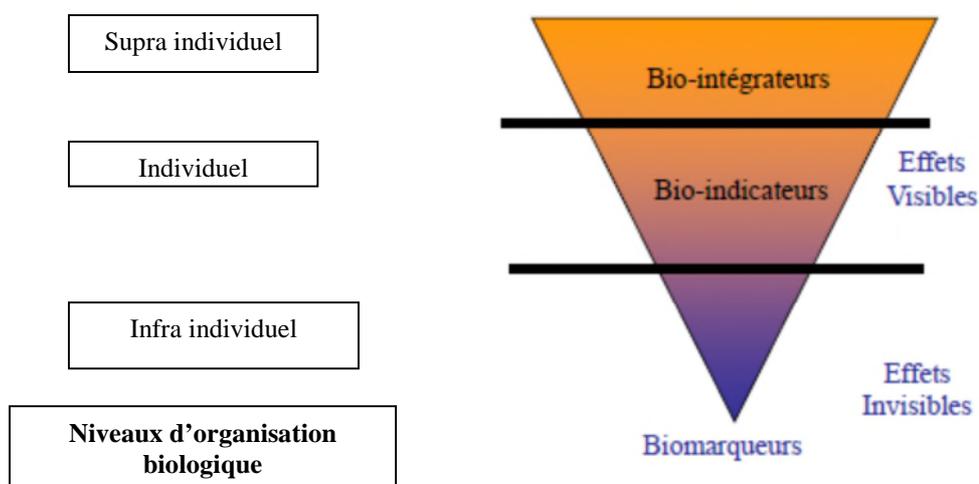
L'utilisation des bio-indicateurs peut se faire selon les différentes facettes de la bio-indication. Ils peuvent être ; des bio-intégrateurs ou bio-estimateurs, des bio-accumulateurs ou bio-marqueurs. Ces bio-indicateurs à effets écotoxicologiques réagissent à la pollution avec des effets quantifiables ou qualifiables à trois échelles différentes qui ont conduit les spécialistes à distinguer :

#### 2.3.1. Bio-intégrateur

Il se situe au niveau de population, ou communautés d'espèces. Les modifications de la présence et de l'abondance d'une espèce indiquent toute modification de l'environnement de cette espèce, (Fig.7).

#### 2.3.2. Bio-accumulateur

La bio-accumulation 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. Ces bio-indicateurs d'accumulation ou bio-accumulateurs, ont la propriété d'accumuler des polluants par dépôt, adsorption, absorption, migration, cette propriété sera notamment recherchée pour des polluants toxiques à l'état de trace dans le compartiment atmosphérique.



**Figure 7** : Concept de Bio-indication (Cuny et al., 2012).

Les végétaux bio-accumulateurs peuvent bio-concentrer fortement les contaminants, ils peuvent aussi accumuler l'ensemble des polluants présents et indiquer la biodisponibilité, c'est-à-dire la contamination reçue par les organismes vivants, ainsi que les risques sanitaires potentiels.

### **2.3.3. Bio-marqueur**

Ce concept relève de processus biologiques ; il se situe au niveau infra-individuel ; c'est un changement observable et/ ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental, qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant.

## **2.4. Type de Bio-indication**

Deux grands types de bio-indication sont distingués, (Tab. 6) :

### **2.4.1. Bio-indication active**

On utilise la végétation en place et quelquefois des espèces cultivées présentes dans la zone à étudier. Les avantages de cette méthode ; sont la présence constante de ces plantes sur le terrain et la possibilité d'étendre l'échantillonnage. Le désavantage de cette technique vient de la variabilité des conditions bioclimatiques, des caractéristiques génétiques de la végétation, et de l'hétérogénéité de la répartition spatiale des plantes.

### **2.4.2. Bio-indication passive**

Dans ce cas, on utilise des végétaux en place, poussant naturellement sur les zones d'investigation. Elle présente l'avantage de la durée de présence (pour les vivaces) et de s'affranchir des phases de production et mise en place du "matériel" indicateur. L'avantage de cette technique est qu'il est possible de travailler avec une population homogène de plantes. Le désavantage de cette technique réside dans le coût d'une culture en conditions standards.

Tableau 6 : Résumé des types de bio-indication.

type d'approche	Bio-indication	Bio-intégration	Bio-accumulation
Approche passive (utilisation des végétaux présents)	Identification d'une ou plusieurs espèces sensibles à un polluant et bien représentées sur le territoire étudié (Noisetier et Ozone, par exemple). Cartographie des impacts. Suivi temporel possible mais difficile à interpréter	Analyse de la présence/absence d'espèces réputées sensibles ou tolérantes à divers polluants. (exemple des lichens et du SO <sub>2</sub> ). Cartographie possible, suivi temporel à long terme (de l'ordre de 5 à 10 ans) possible.	Identification d'une ou plusieurs espèces (arbres, lichens...) abondantes sur la zone d'étude et réparties de façon homogène. Analyse de la concentration en métaux ou autres éléments traces accumulés dans ces individus
Approche active (utilisation de bio-stations)	Mise en place de plantes sensibles cultivées en pots en différents points du territoire. (tabac Bel W3 sensible à l'ozone, par exemple). Cartographie des impacts et suivi temporel (à l'échelle de la semaine)	Transplantation d'espèces (lichens) d'un site de référence non pollué vers le site d'observation (utile en site très pollué, caractérisé par l'absence de lichens)	Mise en place de plantes (ray-grass) bio-accumulatrices. Prélèvements réguliers dans des conditions contrôlées et analyse chimique de la teneur des tissus en éléments traces (métaux lourds, Arsenic...)

Source: JF Castell - AgroParisTech/INRA - 2009

## 2.5. Bio-surveillance par les organismes vivants de pollution atmosphérique

Depuis une cinquantaine d'années, les phénomènes de pollution ont pris une importance de plus en plus grande aux plans environnemental, sanitaire, économique et politique. Dans l'environnement, les pollutions entraînent des perturbations au niveau des êtres vivants (faune et flore) et des compartiments abiotiques fondamentaux (eau, sol, atmosphère) des milieux (**Anonyme., 2005**).

Connaître la pollution, c'est effectivement mesurer les concentrations des polluants présents mais aussi en mesurer les effets, d'où la recherche de moyens de bio-surveillance des effets des polluants émis dans l'eau, le sol, l'atmosphère et les écosystèmes environnants.

Le recours aux organismes vivants présente l'intérêt d'observer la vie sous ses différentes formes et ouvre ainsi la voie à une surveillance plus large et écologique, intégrant les effets sur l'environnement grâce à des organismes sentinelles (**Anonyme., 2005**).

### 2.5.1. Bio-surveillance par les végétaux

La bio-surveillance de la pollution atmosphérique à l'aide des végétaux a été très développée durant ces dernières années. En Europe, en Asie ; en Amérique du nord et même en Afrique du nord ; plusieurs recherches ont été menées grâce à des travaux de divers institutions, aboutissant ainsi à démontrer que certains végétaux ont la propriété, soit de réagir

très rapidement et d'une façon très visible aux polluants, soit d'accumuler très fortement les polluants présents, (Garrec., 2007).

Les végétaux sont des outils de grand intérêt pour la bio-surveillance. Leur diversité offre un large éventail d'organismes utilisables tel que les Bryophytes, Lichens, les plantes à tige ou Cormophytes qui sont employés spécifiquement ou non pour détecter un grand nombre de polluants atmosphérique (ozone, oxydes d'azote, particules en suspensions, métaux lourds, HAP, dioxines, pesticides...) (Anonyme ., 2004 et Anonyme.,2008). Mais en domaine de recherche les lichens se classe en premier lieu dans la bio-surveillance de la qualité de l'air, (Fig. 8).

### 2.5.1.1. Les lichens

Les lichens sont constitués d'une symbiose entre une algue et un champignon formant un thalle lichénique, ils sont les plus connus, principalement les épiphytes poussant sur d'autres végétaux ou corticoles poussant sur les écorces. Les lichens tirent leur particularité d'une nutrition étroitement liée à l'atmosphère (les rhizines n'ont pratiquement qu'un rôle fixateur) et des propriétés suivantes :

- ▶ Une activité continue indépendante des saisons,
- ▶ Un métabolisme lent associé à une grande longévité,
- ▶ Un grand pouvoir d'accumulation très peu sélectif,
- ▶ Une absence de moyens de lutte contre la pollution

Les **lichens** sont utilisés comme des bio-indicateurs et bio-intégrateurs performants dans la détection de la pollution atmosphérique. Nylander est le premier, à constater la disparition des lichens corticoles du Jardin du Luxembourg entre 1866 et 1896, émet l'idée que les lichens pouvaient être des « hygromètres » de la qualité de l'air (Anonyme. ,2001).

Les lichens représentent une certaine sensibilité à la pollution atmosphérique, ceci est dû à l'absence de régulation stomatique des échanges gazeux, alors que la pression osmotique élevé à l'intérieur des cellules, est une cause prépondérante de leur perméabilité favorisant ainsi les échanges avec l'atmosphère. Nous avons comme exemple : Les lichens de type « crustacé » moins sensible que les espèces de type « foliacées ou fruticuleuses ». En daomaine de recherche le plus souvent on utilise des lichens à thalle foliacé ou fruticuleux tels que *Parmelia caperata*, *P. sulcata*, *Hypogymnia physodes*, *Xanthoria parietina*, *Evernia prunastri*, *Pseudevernia furfuracea*, ils présentent de grandes surfaces d'adsorption des polluants et des échanges importants avec leur milieu.

Les lichens sont utilisés comme bio-accumulateurs et principalement pour la détection de contamination en plusieurs polluants tels que le fluor, métaux lourds, en éléments radioactifs et des pesticides (Anonyme.,2001) ainsi que des polluants dits «organiques », principalement issus de l'activité humaine (PCB, hydrocarbures aromatiques polycycliques et autres). L'analyse de leur composition chimique renseigne sur certaines pollutions d'origine industrielle, urbaine ou agricole (Goujon., 2004), (Photo. 1).

L'Algérie, l'un des pays du monde qui s'intéresse à la bio-surveillance et plus précisément aux espèces lichéniques, des études ont été menées dans ce domaine afin d'avoir des informations d'impact de la pollution atmosphérique sur l'environnement dont la source est principalement le trafic routier, le transport, et l'industries ( raffinerie et cimenterie..etc). La technique utilisée est généralement celle des transplants de lichens qui renseignent sur les zones contaminées.

Prenons l'exemple d'une étude faite récemment par (Maizi et al., 2010) dans la région de Annaba, les résultats confirme bien des teneurs importantes en plomb accumulées par *Ramalina farinacea* qui s'est avéré un excellent indicateur biologique de la pollution plombique dont la source est le trafic routier. Une autre étude faite dans la ville de Skikda mais la source d'émission est aux alentours du complexe de traitement du mercure et comme transplants lichéniques est *Xanthoria parietin* (Alioua et al., 2008).



**Photo 1 :** Différents types de thalles utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'air

D'après AREHN., 2004

### 2.5.1.2. Mousses

Les mousses présentent l'avantage de ne pas posséder de système racinaire et de ne pas être recouvertes d'une cuticule, et par conséquent absorbent la majorité des nutriments et l'eau par voie aérienne : soit par contact avec l'air ou les précipitations, soit par l'impaction ou la sédimentation des particules atmosphériques (Foan., 2012), (photo. 2).

Certaines études ont valorisé la propriété des mousses en bio-accumulation des polluants atmosphériques à la fois des retombées sèches ou humiques. Les rhizoïdes qui les fixent sur le substrat sont de fins filaments qui n'absorbent pratiquement pas d'éléments. La phase aqueuse avec ses constituants dissous est absorbée par la totalité de la surface des feuilles et des tiges. Ainsi l'exposition des mousses à différents polluants atmosphériques (SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) entraîne, chez les espèces sensibles, des décolorations et une réduction de la croissance. Mais ces effets sont assez ténus et les mousses sont généralement peu utilisées comme bio-indicateurs par comparaison avec les végétaux supérieurs (Anonyme., 2005).

Ces végétaux possèdent un rapport surface sur volume élevé, ce qui induit une forte accumulation des polluants atmosphériques par rapport à d'autres végétaux. Les mousses possèdent également une capacité d'échange cationique élevée, ce qui intensifie l'accumulation des polluants minéraux comme les métaux lourds. En ce qui concerne les polluants organiques persistants, c'est plutôt la quasi-absence de cuticule et donc la capacité des mousses à absorber les grosses molécules organiques qui favorise leur accumulation (Wegener et al., 1992).

Dans les années 1980, les premières cartes d'estimation des dépôts atmosphériques métalliques par l'analyse de mousses sont établies par le Danemark et la Suède (Gydesen et al., 1983 cité par Van Haluwyn., 2009). L'influence des conditions environnementales sur l'accumulation des métaux a également été décrit notamment l'influence maritime défavorable à l'accumulation par les mousses d'Arsenic, de Cadmium, de Chrome de Nickel et de Zinc.

Des mesures des teneurs en HAP, carbone, azote et des rapports d'isotopes stables de C et N dans les mousses pleurocarpes *Hypnum cupressiforme* Hedw, échantillonnées sur 61 sites de trois pays d'Europe a permis de dégager des tendances spatiales à l'échelle régionale et de caractériser les sources d'émission de HAP au niveau des trois régions étudiées dans le cadre d'une thèse de doctorat réalisées par (Foan., 2012).



source : Cuny et al., 2012

**Photos 2** : mousses bio-accumulateurs de polluant atmosphérique

Gauche : *Ceratodon purpureus*

Droite : *Scleropodium purum*

Les mousses les plus utilisées sont des pleurocarpes de la classe des *Bryopsida* et de l'ordre des *Hypnales*. Parmi ces dernières, les espèces les plus courantes sont *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* et *Hypnum*. Ces espèces vivent dans des milieux moyennement humides, on les qualifie de mésophytes (Malcolm et Malcolm., 2000) (Photo 2).

### 2.5.1.3. Champignons

Les champignons ont fait l'objet de nombreuses études pour leurs propriétés d'accumulation des métaux lourds et des éléments radioactifs qu'ils puisent dans le sol par leurs mycéliums. La plupart des études relatives à la bio-accumulation par les champignons s'intéressent certes aux propriétés de concentrateurs de ces éléments traces dans l'atmosphère via le sol ; mais elles s'y intéressent surtout dans la perspective d'une transmission des polluants toxiques ainsi concentrés dans la chaîne trophique, soit par ingestion animale ou humaine, soit en passant dans les plantes naturelles ou cultivées pour les champignons en symbiose avec leur racine (mycorhizes)(Anonyme., 2001).

### 2.5.1.4. Les ligneux

Depuis fort longtemps, l'ensemble des espèces végétales dans un lieu donné apportent des renseignements sur l'écologie du milieu et ses caractères environnementaux, ainsi que sur ses modifications.

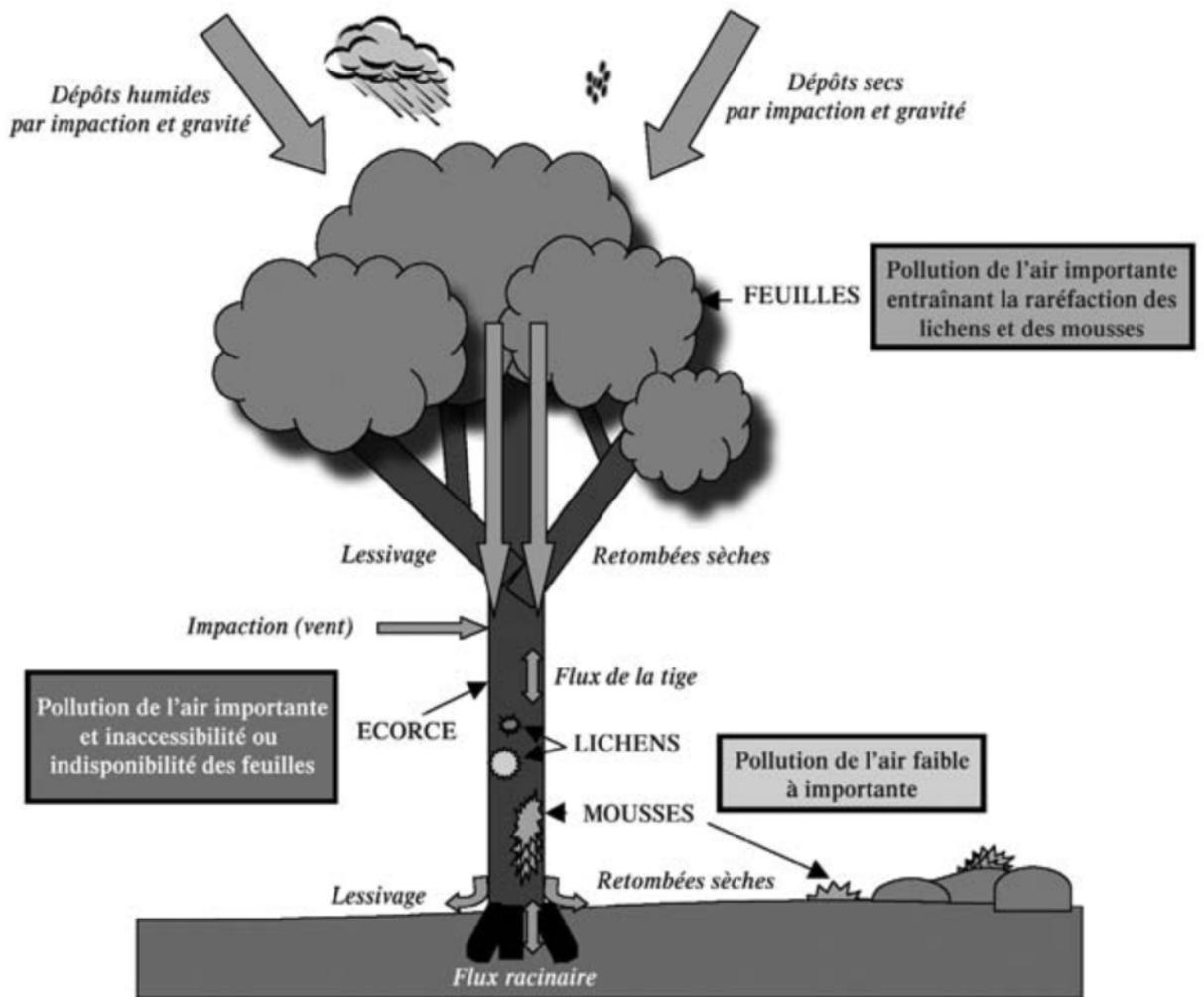
Chez les végétaux bio-indicateurs particulièrement sensibles, les perturbations dues aux pollutions atmosphériques vont se traduire rapidement par des nécroses foliaires, ainsi que par des modifications morphologiques et physiologiques.

Dans les environnements fortement dégradés où la pression anthropique élevée provoque la raréfaction des organismes, certains végétaux supérieurs qui persistent peuvent être utilisés comme bio-accumulateurs végétaux (**Tomasevic et al., 2005**). Bargagli (1998) a dressé une liste non exhaustive des espèces végétales qui peuvent servir aux études de bio-surveillance des éléments traces métalliques. Parmi celles-ci figurent le tilleul, le bouleau, le chêne, le peuplier, le pin et le sureau, mais aussi l'ortie, le pissenlit, le plantain, et le ray-grass (**Rzepkal et Cuny., 2008**). (Fig.8).

On utilise très fréquemment les végétaux comme bio-accumulateurs. Ce sont le plus souvent les feuilles qui sont récoltées, dans lesquelles les polluants particuliers peu solubles peuvent être recueillis par lavage ou à l'aide d'un solvant (**Stenbock-Farmer., 1978**) et les polluants gazeux peuvent être analysés aisément dans les feuilles broyées à partir de leurs principaux éléments minéraux : F pour HF, N pour NO<sub>x</sub> et NH<sub>3</sub>, S pour SO<sub>2</sub>, etc. (photos 3 et 4).

En effet, les surfaces foliaires, grâce à la présence de cires et aux trichomes, retiennent fortement les particules collectées par les végétaux et se révèle une méthode simple et peu onéreuse pour avoir rapidement une très bonne estimation des niveaux-relatifs de différentes pollutions atmosphériques présentes en zones urbaine et péri-urbaine. C'est une méthode avant tout complémentaire des méthodes physico-chimiques classiques de mesure de la qualité de l'air (**Garrec et al., 2002**).

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. Notons que les troncs d'arbres constituent une matrice verticale commune, très enrichie par l'apport atmosphérique (**Kebich et al., 2001**).



**Figure 8 :** Présentation schématique des taxons bioaccumulateurs d'ETM et des paramètres régissant les phénomènes d'accumulation (illustration inspirée des schémas de Bargagli, 1998).



**Photo 3 :** Feuilles de *Nerium oleander* nécrosées (Septembre, 2013)



**Photo 4 :** Feuilles d'*Acacia retinoides* nécrosées (Septembre, 2013)

Les polluants atmosphériques gazeux ou métalliques pénètrent généralement chez les végétaux supérieurs dans les feuilles par les stomates, les polluants particulaires étant le plus souvent stoppés et localisés à la surface des feuilles au niveau de la cuticule et des cires. En ce qui concerne l'étude de la bio-accumulation par les végétaux supérieurs et particulièrement les arbres et les arbustes dont la plupart sont des espèces ornementales situées au centre des villes ou aux alentours. Plusieurs travaux de recherche ont pour but de classer ces espèces comme des bio-indicateurs de pollution et essentiellement de pollution atmosphérique.

Des études faites dans la vallée du Saint-Laurent au Canada sur des pins blancs, des chênes rouges et des hêtres à grandes feuilles ont montré une concentration de fluor dans les cernes correspondant à trente d'années d'émission par la raffinerie d'aluminium présente dans la région (Tahar et al., 1998 cité par Kebiche.,2001). Également, dans le cadre d'un plan d'action gouvernemental relatif aux lagunes de Mercier (MDDEP 2007) au Québec (milieux rural et urbain), des échantillons d'aiguilles d'épinettes blanches (*Picea glauca*) et d'épinettes de Norvège (*Picea abies*) ont été prélevés en 2007 (12 sites) et en 2008 (14 sites) comme indicateurs de la présence de certains composés semi-volatils dans l'air ambiant, soit les dioxines et les furanes (PCDD et PCDF), les biphényles polychlorés (BPC) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (Walsh., 2011).

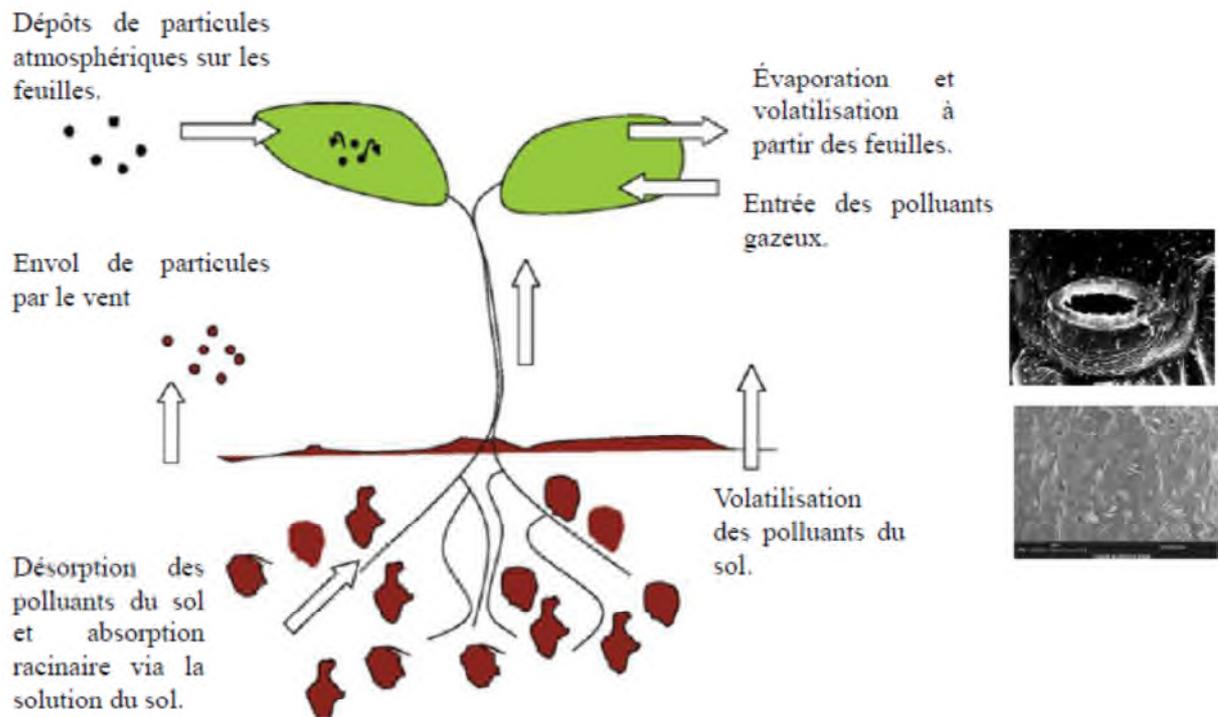
En ce qui concerne les Éléments Traces Métalliques (ETM), Rossini Oliva et Mingorance (2006) ont démontrés que les concentrations retrouvées dans l'écorce et les feuilles de Pin et (*Pinus pinea*) de Laurier rose (*Nerium oleander*) sont considérablement supérieures à celles dosées dans leur bois. Ce dernier est un élément interne, qui accumule principalement les éléments provenant du sol, au contraire des feuilles et de l'écorce qui sont exposées aux particules atmosphériques. Alioua (2008), a démontrés la bio-accumulation spatio-temporelle du mercure aux alentours du complexe de traitement du mercure de la région de Azzaba (Skikda) par des échantillons foliaires d'espèces Phanérogamiques in situ : (*Casuarina equisetifolia*, *Cupressus sempervirens*, *Olea europaea*, et *Triticum durum* comme espèce lichénique). Cette étude a permis de cartographier la pollution par le mercure afin de délimiter les zones névralgiques méritant une attention particulière. La différence enregistrée dans la bio-indication est liée surtout à la nature de l'espèce, à sa morphologie, aux caractéristiques de son feuillage, au degré de présence-absence et aux paramètres topographiques et climatiques.

Une autre étude a permis de quantifier la contamination aérienne en métaux lourds due au trafic routier. Les analyses ont portées sur des feuilles du platane d'orient (*Platanus orientalis*) et du caroubier (*Ceratonia siliqua*), ce qui a donné par conséquence une carte des sites pollués par les trois métaux lourds (Pb, Zn, Cu) de la ville de Sidi Bel' Abbas. Les concentrations élevées en plomb et en zinc enregistrées dans seize sites de prélèvement sont en étroite relation avec un trafic routier très dense et un parc automobile vieillissant. Ces trois éléments sont des principaux polluants métalliques, ils sont issus des gaz d'échappement, de l'usure des garnitures de freins, des pneumatiques et de la corrosion des glissières de sécurité **(Belhadj., 2011)**.

La bioaccumulation ne concerne pas seulement le feuillage, les écorces sont aussi de meilleures accumulatrices d'éléments traces métalliques tel que le plomb, cuivre, cadmium et le zinc. Ils sont utilisés dans les études à proximité de hauts fourneaux, mines d'extraction, routes très fréquentées ou autres environnements lourdement pollués. L'âge de l'écorce diminuant avec la profondeur, il est aussi possible de réaliser des historiques en subdivisant les échantillons d'écorce dans le sens du rayon pour évaluer les changements dans le temps **(Bargagli., 1998)**. Ainsi les capacités d'accumulation varient en fonction de l'espèce d'arbre, l'épaisseur, la porosité et la rugosité de l'écorce, **(Rzepka et Cuny., 2008)**.

Les tiges sont aussi utilisées comme bioaccumulateur, et pour que les constituants atmosphériques s'intègrent à l'intérieur de ces tiges, plusieurs processus peuvent être supposés intervenir :

- ▶ La voie la plus simple serait un transfert direct de l'atmosphère vers la tige, comme le fait O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ou H<sub>2</sub>O avec une éventuelle intervention des lenticelles. Cette voie est celle de composés volatiles.
- ▶ La deuxième voie serait celle d'un transfert de l'eau (pluie ou rosée) où des produits qui peuvent être en solution vraie, vers la tige où ils peuvent diffuser dans l'eau interne ou se partitionner avec différentes matrices adsorbantes (subérine, cellulose, membranes biologiques...) ou encore faire l'objet d'un transfert actif.
- ▶ La 3ème voie serait celle d'une intégration en phase solide, différant totalement d'un processus de phagocytose mais pouvant résulter de la formation de "micropoches" subériennes au cours de la croissance en diamètre des axes. Par ailleurs, des piègeages lenticellaires sembleraient également possibles **(Kebich et al., 2001)**, (Fig. 9).



Adapté de Collins et al. 2006

**Figure 9** : Principaux mécanismes d'entrée des polluants dans les plantes (Cuny., 2012).

### 2.5.2. Bio-surveillance par les Animaux

Les organismes sensibles à un polluant donné peuvent être utilisés afin d'évaluer la qualité de l'air. En milieu terrestre on trouve plusieurs espèces indicatrice de cette pollution on rencontre parmi les invertébrés terrestres, un certain nombre de groupes taxonomiques au fort pouvoir de bio-accumulation. Ainsi, les annélides oligochètes (*Eisenia*, *Lombricus*) sont utilisés comme bio-indicateurs de pollution des sols par les métaux lourds ou les composés organiques de synthèse. Les crustacés isopodes comme les cloportes, ainsi que les gastéropodes pulmonés sont aussi des bio-accumulateurs performants de la pollution des sols par les métaux lourds. Parmi les microarthropodes corticoles tels que les acariens, collemboles et psoques, on a pu mettre en évidence une sensibilité différentielle en fonction de la qualité de l'air ; ainsi le genre *Xenylla* (collembole) est polluo-tolérant.

Les vertébrés terrestres sont également utilisés comme indicateurs de pollution car ils peuvent concentrer divers polluants dans certaines parties de leur organisme, et en particulier dans les phanères. Les oiseaux accumulent dans leurs plumages divers métaux lourds, ainsi la contamination en Cd et Hg a été recherchée chez les flamants roses et les aigrettes de camargue. Chez des mammifères, la bio-accumulation des métaux lourds a été mise en évidence dans leurs os, les dents, le foie ou le rein.

En milieu aquatique, les mollusques lamellibranches constituent d'excellents indicateurs de contamination des eaux marines et continentales grâce à leurs fortes capacités de bio-accumulation. Dans les eaux littorales atlantiques la teneur des mollusques a été prouvée en hydrocarbures, composé organo-chlorés, métaux lourds et éléments radioactifs. Les moules, les huîtres ont été employées à vaste échelle dans la bio-surveillance des écosystèmes aquatiques, tel que *Sphaerium*, *Pisidium* où on enregistre le même rôle dans les eaux douces. Divers macro-invertébrés benthiques ont été utilisés pour l'évaluation de la qualité des eaux de surfaces, où des communautés sont dites polluo-résistantes tel que (*Chironomus*, larves d'*Eristalis*, *Asellus*, *Lymnaea*,...) ou polluo-sensibles (larves d'*Ephemera*, de *Sialis*,...) (Anonyme., 2005).

Les annélides hirudinées sont utilisés comme bio-accumulateurs des composés organiques de synthèse dans les écosystèmes limniques. Les poissons, en particulier, les téléostéens d'eau douce ou marins sont utilisés comme bio-indicateurs de pollution en milieu limnique ou océanique.

## Chapitre 3. Monographie des espèces étudiées

### 3.1. Laurier rose (*Nerium oleander*)

Laurier rose ou *Nerium oleander*, arbuste ornemental à fleurs rustique, de la famille des apocyniacées. C'est un arbuste originaire du pourtour méditerranéen, au feuillage persistant et fleurs roses mais parfois blanches ou rouges, (photo.5).

#### 3.1.1. Répartition Géographique

Plante méditerranéenne, le laurier rose fleurit très bien dans les régions moins tempérées. Il est très résistant à la sécheresse mais qui s'accommodent également des climats tropicaux humides, sensible au froid et craint le gel, Le laurier rose passe l'hiver en serre dans les pays tempérés à hiver froid. Il est très répandu dans les pays chauds aussi bien dans les jardins que le long des routes et des autoroutes. Il est très apprécié pour son feuillage persistant même en zone aride et ses nombreuses fleurs décoratives. Il s'adapte facilement et apprécie les zones rocheuses près des cours d'eau temporaires et des fonds de vallées.

#### 3.1.2. Caractères éco-physiologique du *Nerium oleander*

Le laurier-rose est Vigoureux, de croissance rapide, il présente un port dressé et légèrement arrondi. La floraison est très abondante pendant plusieurs mois. Les fleurs, regroupées en petits bouquets, peuvent être simples ou doubles et parfumées. Il peut agrémenter une terrasse et également être installé en haie libre, champêtre et fleurie. Il permet aussi de former de très bonnes haies brise-vent particulièrement près des bords de mer avec sa grande tolérance des embruns et des vents. Le laurier est de différent variétés, (Tab. 7).

- **Qualité du sol :** des sols bien drainés mais sa floraison sera plus abondante en terre humide.
- **Exposition :** Ensoleillé, plein soleil.
- **Hauteur :** En pleine terre de 3 à 4 m de haut ou plus
- **Période de floraison :** Floraison abondante du mois de Mai et Juin au mois d'Octobre.
- **Couleur des fleurs :** Blanc, jaune, orange, rose, rouge, saumon.

- **Maladies** : Chancre, fumagine, gale bactérienne et pourriture.
- **Voisinage propice - Plantes compagnes** : C'est un bon compagnon pour les fleurs et les arbustes de haies.
- **Parasites** : Acariens rouges, cochenilles, pucerons et thrips.

(A)



(B)



**Photo 5** : Fruits (A) et Fleurs(B) du *Nerium oleander* (Laurier rose)

Source: Wikimedia Commons., 2005

### 3.1.3. Systématique

<b>Règne</b>	:	Plantae
<b>Embranchement</b>	:	Spermatophyta (Angiospermae)
<b>Classe</b>	:	Magnoliopsida
<b>Ordre</b>	:	Gentianales
<b>Famille</b>	:	Apocynaceae
<b>Genre</b>	:	<i>Nerium</i>
<b>Espèce</b>	:	<i>Nerium oleander</i>

**Tableau 7:** Quelques Espèces et Variétés du laurier rose (*Nerium oleander*)

Variétés à fleurs simples parfumées	Variétés à fleurs doubles parfumées
<p><i>Laurier-rose "Emile Sahut"</i> : Variété à fleurs rouge.</p> <p><i>Laurier-rose "Hardy Pink"</i> : Variété à fleurs rose très clair.</p> <p><i>Laurier-rose "Isabelle"</i> : Variété à fleurs blanches. De petite taille, il est très bien adapté pour la culture en pot.</p> <p><i>Laurier-rose "Italia"</i> : Variété à fleurs rouge profond.</p> <p><i>Laurier-rose "Marevenne"</i> : Variété à fleurs rouge vif.</p> <p><i>Laurier-rose "Minouche"</i> : Variété à fleurs rose intense. De petite taille</p> <p><i>Laurier-rose "Otalìa"</i> : Variété à fleurs rouge intense.</p> <p><i>Laurier-rose "Sœur Agnès"</i> : Variété à fleurs blanches.</p> <p><i>Laurier-rose "Tito Poggi"</i> : Variété à fleurs couleur abricot.</p>	<p><i>Laurier-rose "Géant des Batailles"</i> : Variété à fleurs rouge foncé avec quelques striures blanches.</p> <p><i>Laurier-rose "Louis Pouget"</i> : Variété à fleurs rose intense et foncé.</p> <p><i>Laurier-rose "Luteum Plenum"</i> : Variété à fleurs jaunes.</p> <p><i>Laurier-rose "Mme Allen"</i> : Variété à fleurs roses.</p> <p><i>Laurier-rose "Professeur Granel"</i> : Variété à fleurs rouge légèrement orangé.</p> <p><i>Laurier-rose "Provence"</i> : Variété à fleurs couleur abricot intense et foncé.</p> <p><i>Laurier-rose "Rosé du Ventoux"</i> : Variété à fleurs rose magenta.</p> <p><i>Laurier-rose "Roseum Plenum"</i> : Variété à fleurs rose saumon foncé.</p> <p><i>Laurier-rose "Sœur Agnès"</i> : Variété à fleurs blanches.</p> <p><i>Laurier-rose "Tamouré"</i> : Variété à fleurs rouge foncé.</p>

### 3.1.4. Propriétés chimiques et médicinales

Le composé le plus caractéristique du laurier rose est l'oléandrine, c'est un hétéroside à structure stéroïdique, qui ressemble beaucoup du point de vue chimique et pharmacologique à l'ouabaïne et à la digoxine, deux cardiotoniques très utilisés en cas d'insuffisance cardiaque. L'action de l'oléandrine est double : interaction avec la pompe à Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> des cellules du muscle cardiaque et action directe sur le tonus vagal donc la régulation nerveuse des battements cardiaques. La **pompe sodium-potassium** ou **Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPase** est un système enzymatique qui contrôle les échanges entre le sodium et le potassium intra et extracellulaire, ce qui règle l'activité de la cellule et sa mise au repos.

Dans le cas du myocarde (muscle du cœur), cela décide de l'importance de la contraction du cœur et de son rythme. L'oléandrine et ses dérivés bloquent l'action de ce système enzymatique, et prolonge la contraction du cœur. La deuxième action importante de l'oléandrine est sur la régulation du nerf vague ou pneumogastrique (10<sup>ème</sup> paire crânienne) qui innerve entre autre le cœur et les organes digestifs.

L'augmentation du "tonus" du nerf vagal provoque un ralentissement du rythme cardiaque et des troubles digestifs (nausées, vomissements). L'oléandrine et ces dérivés sont présents dans toutes les parties du laurier rose (feuilles, fleurs, sève-latex, bois, racines), leur quantité est variable dans le temps et en fonction des conditions de culture. Ainsi l'oléandrine est soluble dans l'eau (pot de fleurs, pots à bouture), elle est présente dans la fumée même quand on brûle du laurier rose. Il semblerait que les conditions arides augmentent la concentration en glucosides cardiotoniques dans le laurier rose (jusqu'à 2%).

### **3.2. Acacia des Quatre Saisons (*Acacia retinodes* ou *Acacia retinoides*)**

#### **3.2.1. Répartition géographique**

L'Acacia des Quatre Saisons est originaire d'Australie, provenant aussi de Victoria et de la Tasmanie Il a été importé en Europe à la fin du 18ème siècle.

On compte plus de 1 500 espèces d'acacias à travers le monde dont près de 1 000 uniquement en Australie. Décrit et dénommé par Diederich Franz Leonhard von Schlechtendal en 1847, *Acacia retinodes* doit son nom à sa très longue floraison car, dans de bonnes conditions de culture, il fleurit presque toute l'année, (photo. 6).

#### **3.2.2. Caractères Ecophysiologiques d'*Acacia rétinoides***

*Acacia retinoides* est un arbre ornemental en forme arrondie et peuvent atteindre une hauteur de 4 à 8 mètres avec une croissance assez rapide. Il est décoratif toute l'année avec son feuillage persistant simple et alterne de couleur vertes fougère, oblancéolées et pétiolées avec un bord entier. Les feuilles du mimosa des quatre saisons ne sont pas des feuilles à proprement parler mais des phyllodes (ce sont des pétioles qui ont l'aspect d'une feuille sans que le limbe foliaire soit développé). Les fleurs, sont en forme de boule de couleur jaune claire s'organisant en grappe, appelées des glomérules et ont la particularité d'être sessiles, c'est-à-dire qu'elles sont directement accrochées sur la tige. Quand aux fruits ; ils sont en forme de gousse. La floraison est plus intense du mois de mai au mois de novembre.

Acacia des quatre saisons a un grand pouvoir occultant, c'est pour cette raison qu'il est utilisé en haie ou en brise-vue. Il doit être contrôlé car il se ressème facilement et comme il est bien drageonnant, il peut devenir envahissant.

Il est souvent employé comme porte-greffe pour les autres mimosas, auquel il transmet sa tolérance au calcaire. Le mode de multiplication est en semis, bouturage et greffage. Cette espèce d'acacia est moyennement rustique, supportant des températures allant de -5 à -8°C. Acacia des quatre saisons ne supporte pas l'eau stagnante. Il tolère les terres calcaires profondes et légères. Pour l'exposition de préférence ensoleillée, chaude et abritée du vent.

### 3.2.3. Systématique

<b>Règne</b>	:	Plantae
<b>Division</b>	:	Magnoliophyta
<b>Classe</b>	:	Rosopsida
<b>Ordre</b>	:	Fabales
<b>Famille</b>	:	Apocynaceae
<b>Genre</b>	:	<i>Acacia</i>
<b>Espèce</b>	:	<i>Acacia retinoides</i>

### 3.2.4. Propriétés Economiques

*Acacia retinoides* est pour longtemps utilisée comme arbre ornementale suite à sa grande résistance aux conditions défavorables du milieu. Mais d'une manière générale, les arbres du genre *Acacia* possèdent des propriétés intéressantes, comme le cachou par exemple, est tiré de l'*Acacia catechu*, la gomme arabique de l'*Acacia arabica*. On extrait des substances fébrifuges (contre la fièvre) de l'*Acacia ferruginosa*, mais aussi des matières colorantes. Des tanins provenant de *Acacia arabica* et *Acacia adansonia* ont longtemps été utilisés. Le bois très dur des arbres du genre *Acacia*, est utilisé depuis longtemps pour la construction des coques de bateaux.

(A)



(B)



**Photo 6:** Fleurs (A) et Fruits (B) d'*Acacia retinoides* (Acacia des quatre saisons).

Source: Wikipedia. Org

## Chapitre 4 : Paramètres Physiologiques étudiées

### 4.1. Chlorophylle

#### 4.1.1. Définition de la chlorophylle

La chlorophylle est une entité qui désigne 5 ou 6 espèces moléculaires répandues actuellement dans le monde photosynthétique, telles que chl a, chl b, chl c, chl d, carotènes et xanthophylles ; se sont des molécules responsables de la couleur verte des plantes (**Dallaa., 2003 et Benterrouche., 2006**).

Chez les végétaux supérieurs, on trouve 2 types de chlorophylle qui se différencient par leur structure moléculaire leur mode d'absorption des ondes lumineuses :

- La chlorophylle *a* existe chez tous les végétaux ( $\approx 3\text{g} / \text{Kg}$  de feuilles fraîches), elle représente 75 % de la chlorophylle des plantes vertes.
- la chlorophylle *b* se trouve chez les Cormophytes (végétaux supérieurs) et les Chlorophycées (algues vertes) à des teneurs moindres ( $\approx 0.75\text{g} / \text{Kg MF}$ ).
- Deux autres variantes existent chez les Phéophycées (algues brunes) et les Rhodophycées (algues rouges), respectivement les chlorophylles *c* et *d*.

Chez les végétaux supérieurs, la chlorophylle "b" peut atteindre 50% de la chlorophylle "a" (**Dellaa, 2003**).

- La chlorophylle f identifiée en 2010 dans certains stromatolithes, elle a pour caractéristique une absorption décalée vers le rouge par rapport aux autres chlorophylles (**Chen et al., 2010**).

#### 4.1.2. La structure de la chlorophylle

Les structures chimiques des chlorophylles ont été abondamment étudiées. Elles sont toutes caractérisées par un atome de magnésium central, entouré de 4 atomes d'azote qui sont eux-mêmes aux sommets de 4 cycles à 5 sommets, un cinquième cycle, lié au troisième une longue chaîne latérale (phytol), (Fig. 10).

#### 4.1.3. Chlorophylle et stress

Plusieurs études et travaux de recherches ont démontrés que la photosynthèse et les échanges gazeux des feuilles sont affectés par plusieurs stress dont, la salinité, le stress hydrique (**Cheikh M'Hamed et al, 2008 ; Boussabouaa., 2010**), le stress métallique (**Dellaa., 2003**), la compaction du sol, une nutrition inadéquate...etc.

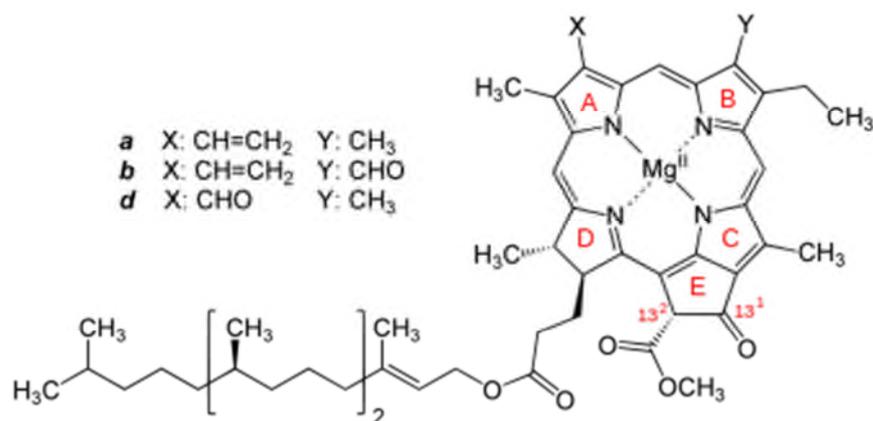


Figure 10 : Structure de la chlorophylle (a) et de la chlorophylle(b)

## 4.2. La proline

### 4.2.1. Définition

La proline est le seul acide  $\alpha$ -aminé dont la fonction amine soit secondaire. Le radical de la proline comprend 3 carbones saturés dont le dernier est lié à la fonction  $\alpha$ -aminée incluse dans la liaison peptidique. Le tout forme un noyau pyrrole (4 carbones et 1 azote), la présence d'une proline dans la structure primaire d'une protéine empêche la constitution des liaisons hydrogènes de la structure secondaire : fin des hélices  $\alpha$ , bords des feuilletts  $\beta$ .

La proline représente environ 4 % des acides aminés des protéines de notre organisme. Certains aliments sont riches en proline : gélatine, pain, lait ; d'autres en sont pauvres : pommes de terre.

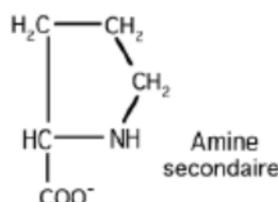
Parmi les 20 acides aminés protéiques. La proline est un acide aminé non indispensable chez l'homme, par contre chez les végétaux c'est un acide aminé indicateur du stress de la plante. La proline est dite alors AA à groupe aminé secondaire. Les acides aminés ont les propriétés d'amphotère et sont appelé ampholytes (amphotéiques électrolytes parce qu'ils peuvent se comporter comme un acide ou comme une base (Dallaa , 2003).

### 4.2.2. Synthèse de la proline

L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires: stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines, (Fig. 11).

La proline est synthétisée à partir de l'acide glutamique via l'acide 5 carboxylique 1 pyrroline (P5C) mais également via l'arginine et l'ornithine (Levigneron et al., 1995 et Tahri et al., 1998).

- la première réaction est catalysée par la  $\gamma$ -glutamyl kinase qui phosphoryle le glutamate en  $\gamma$ -glutamylphosphate, ce qui correspond à la première réaction de synthèse de la glutamine ;



**Figure 11** : Structure de la proline (Wikipedia.org)

- la seconde réaction fait intervenir le NADH, H<sup>+</sup> et déphosphoryle le  $\gamma$ -glutamylphosphate en glutamate- $\gamma$ -semialdéhyde;
- la troisième réaction est spontanée, ne faisant intervenir aucune enzyme : c'est la cyclisation du glutamate  $\gamma$ -semialdéhyde;
- enfin, une réductase forme la proline qui, selon les organismes, utilise le NADH, H<sup>+</sup> ou le NADPH, H<sup>+</sup>.

#### 4.2.3. Le rôle de la Proline

La proline est l'un des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales variées et joue un rôle important dans la tolérance des plantes. La proline a été proposée comme stabilisateur de protéines et de complexes macromoléculaires, piègeur de radicaux libres et régulateur du potentiel redox cellulaire. La concentration intracellulaire de la proline dépend d'une régulation fine entre sa biosynthèse et sa dégradation. Cependant le rôle exact de la proline et les voies de signalisation impliquées dans la régulation de son métabolisme ne sont pas encore complètement élucidés. L'étude du métabolisme de la proline chez les plantes modèles permettrait d'acquérir des informations quant aux mécanismes différentiels mis en œuvre par les plantes pour faire face aux contraintes environnementales et d'établir des outils pertinents pouvant être utilisés dans l'amélioration des plantes cultivées (Ben Rejeb et al., 2012).

### 4.3. Les sucres solubles

Tous les organismes vivants utilisent les voies de signalisation par les sucres solubles, la plante les met en œuvre pour intégrer les éléments internes et externes et maintenir à niveau constant certaines caractéristiques nutritionnelles, pour gérer les processus hormonaux de croissance et développement et pour articuler les réponses aux stress biotiques et/ou abiotiques (**Derridj et al., 2011**). Des centaines de gènes ont leur expression régulée par les sucres chez la plante.

Les sucres jouent un rôle prédominant dans la vie d'une plante, ils sont produits par la photosynthèse, transportés vers les tissus profonds, canalisés vers la respiration ou convertis en composés de réserve qui sont éventuellement dégradés en leurs constituants carbohydrates. L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, à fin de résister aux contraintes du milieu (**Bajji et al., 1998**).

Les sucres ont été signalés comme des osmorégulateurs. Ils jouent un rôle important dans l'ajustement osmotique, lequel est considéré comme une réponse adaptative des plantes aux conditions de déficit hydrique (**Zhang et al., 1999**) et stress salin. Ils peuvent protéger les membranes et les protéines contre la déshydratation en incitant la formation d'une sorte de verre aux températures physiologiques. Les sucres accumulés pendant le stress vont probablement être utilisés dans la croissance après la levée de cette contrainte.

En effet, l'accumulation des sucres solubles peut résulter d'une augmentation de l'hydrolyse de l'amidon puisqu'ils ont enregistré, simultanément, une diminution de l'amidon et une accumulation de sucres solubles dans les tissus stressés.

Il a été montré que le malate pouvait représenter plus de 20% des sucres solubles dans les feuilles de Renoncule alpine (*Ranunculus alpestris*) acclimatées à la combinaison froid et lumière, et que cette teneur chutait significativement après dé-acclimatation. Par opposition, la teneur extrêmement élevée en ascorbate - molécule antioxydante - chez la Soldanelle alpine (*Soldanella alpina*) semble moins dépendante des conditions environnementales. D'autres métabolites primaires, comme le méthyl-beta-D glucose, dont la présence en grande quantité chez certaines espèces alpines est tout à fait nouvelle, ne sont peut-être pas directement impliqués dans les mécanismes photo protecteurs mais pourraient jouer un rôle de puits de carbone au sein des tissus photosynthétiques.

# DEUXIÈME PARTIE

## Matériels et Méthodes

## Chapitre 5. Présentation de la zone d'étude

### 5.1. Situation géographique de la zone d'étude

Notre zone d'étude est située à l'Est algérien dans la région de Constantine le long de l'autoroute Est-Ouest sur un rayon de plus de 60Km autour des pénétrants de l'autoroute allant d'Elmridj à l'Est vers Chelghoum El Aid à l'Ouest passant par Sissaoui, Zouaghi, Ain Smara, et Oued El Athmania.

Le terrain étudié (Fig.12) est localisé dans la partie centrale d'une entité géographique habituellement désignée sous le nom " hautes plaines Constantinoises" entre les villes de Constantine au Nord-Est et Chelghoum El Aid au Sud Ouest, Mila au Nord Ouest et El Khroub au Sud Est.

Cette région est située à 36° de latitude Nord et entre 6°12' et 6°41' longitude Est appartenant ainsi administrativement en partie à la wilaya de Constantine et à la wilaya Mila.

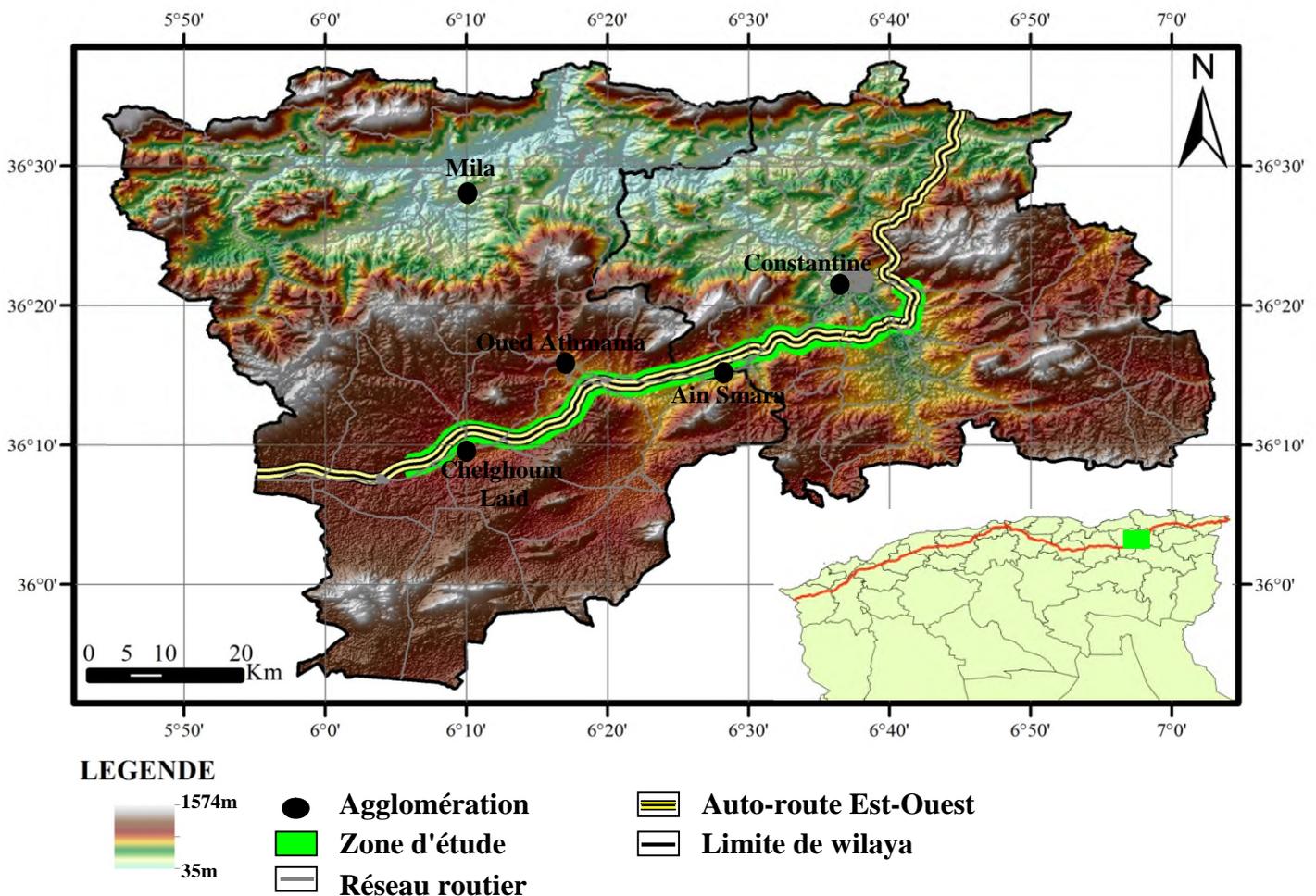


Figure12 : Situation géographique de la zone d'étude

Les voies de communication se résument essentiellement par l'autoroute Est-Ouest et ces bifurcations parmi lesquelles la route nationale N°3 reliant Constantine à Biskra, et la route nationale N°5 reliant Constantine à Sétif passant par Ain Smara, Oued El Athmania et Chelghoum El Aid. A ceux-ci s'ajoutent quelques routes secondaires intercommunales complétant le réseau routier.

Ainsi définie, cette région correspond en partie aux monts de Constantine et aux hautes plaines constantinoises. Aux premiers correspondent des collines marneuses d'où émergent quelques massifs importants qui sont des massifs calcaires crétacés; au milieu du second ensemble occupé par des dépôts plio-quadernaires se dressent des massifs montagneux abrupts et isolés correspondant aux calcaires du Crétacé.

## **5.2. Oro-hydrographie**

Il s'agit d'un ensemble montagneux bien individualisé qui présente une morphologie morcelée (Fig.13) avec des vastes plaines recouvertes de dépôts plio-quadernaires. L'altitude moyenne varie entre 500 m et 800 m et dépasse par fois les 1 000m.

Les plaines sont parsemées de nombreux Oueds qui convergent en majorité, vers l'élément hydrographique le plus important du Constantinois ; le Rhumel qui traverse les hautes plaines Constantinoises (les plaines de Tadjanet, d'Oued Athmania et celle d'Ain Smara) suivant une orientation SW-NE jusqu'à sa confluence avec le Boumerzoug qui constitue en fait un de ses importants affluents, car drainant une partie des plaines d'Ain M'lila, Ain Fakroun et celle d'El Khroub.

## **5.3. Cadre géologique**

Du point de vue géologie régional, notre zone d'étude fait partie d'un grand ensemble appelé "avant payé septentrional" comprenant d'Ouest en Est la plate forme Sétifienne, la plate forme Constantinoise et le bassin de Sallaoua.

La carte géologique de Constantine et de ses alentours au 1/200000 montre trois grands ensembles géologiques distincts (Fig.13) :

- L'ensemble anté-nappes correspond aux formations Anté-néogènes dont le Crétacé néritique constitue le soubassement et dont l'enracinement ou le flottement fait l'objet de grandes controverses. Il est caractérisée principalement par des formations carbonatées de Jurassique supérieur au Sénonien Transgressif (**J.M.Vila., 1980**);
- Les nappes telliennes;

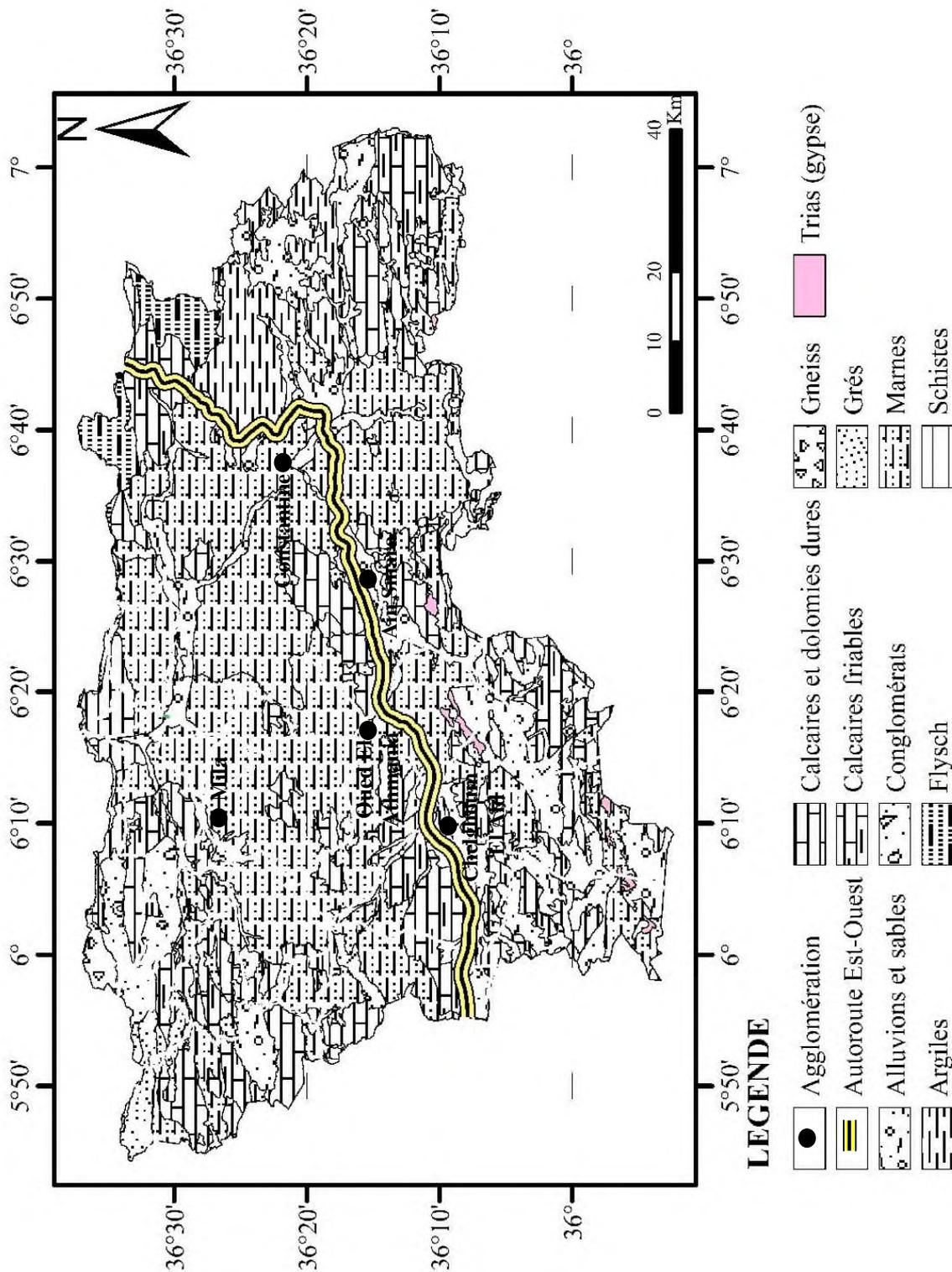


Figure 13: Carte de nature de sol de la zone d'étude (extraite de la carte géologique Nord-Est Algérie-J.M. Villa)

- Les séries post-nappes constituent les formations du Mio- Pliocène continental et du Quaternaire. Il s'agit d'une série détritique hétérogène essentiellement alluvionnaires formant ainsi les bassins de Constantine et de Mila.

## 5.4. Climat

Les conditions climatiques du secteur d'étude sont celles du climat méditerranéen. Toutefois, du fait de sa position latitudinale (36° N), la région d'étude est soumise à la double influence d'un régime méditerranéen donnant un climat tempéré au Nord et à un degré moindre à un régime subtropical au Sud. L'éloignement de la mer (une centaine de kilomètres), la présence au Nord de reliefs élevés, formant barrière, provoquent un dessèchement progressif des masses d'air venant du Nord. Néanmoins les précipitations d'origine cyclonique restent les plus abondantes. Les contrastes thermiques dus à la présence de massifs élevés entourant de vastes plaines provoquent des mouvements convectifs qui sont à l'origine des pluies d'orage. Les perturbations nées en Méditerranée, après un long voyage à travers celle-ci d'Est en Ouest contournent l'Atlas par l'Atlantique, traversent l'Algérie du Nord d'Ouest en Est et fournissent des précipitations en faible quantité. Par contre les perturbations qui prennent naissance dans l'Atlantique engendrent parfois des précipitations importantes au printemps. Enfin les perturbations tropicales de faible intensité ne jouent qu'un rôle minime dans l'apport des précipitations à notre région.

Les variabilités climatiques ainsi que la latitude et l'altitude ont subdivisé cette région en étage bioclimatique bien distincte comme le montre la figure (14).

### 5.4.1. Origine des données climatiques

Les données climatiques dans la présente d'étude proviennent de la station météorologique d'Ain El Bey et couvrent une période de 40 allant de 1971 à 2010. Ces données recueillies concernent les températures, les précipitations, l'humidité relative, et le vent.

**Tableau 8 :** Caractéristiques de la station d'Ain Bey

Nom de station	Coordonnées géographiques		Altitude (m)	Données disponibles	période
	Latitude	Longitude			
Ain El Bey	6° 36' 41" E	36° 20' 44" N	590	P, T, H et Vent	1971-2010

P= pluviométrie (mm) T= température H : humidité (%)

### 5.4.2. Paramètres climatiques

#### 5.4.2.1. Pluviométrie

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale, non seulement pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestre, mais aussi pour

certain écosystème limniques tels les mares et les lacs temporaire, et les lagunes saumâtres soumises à des périodes d'assèchement.

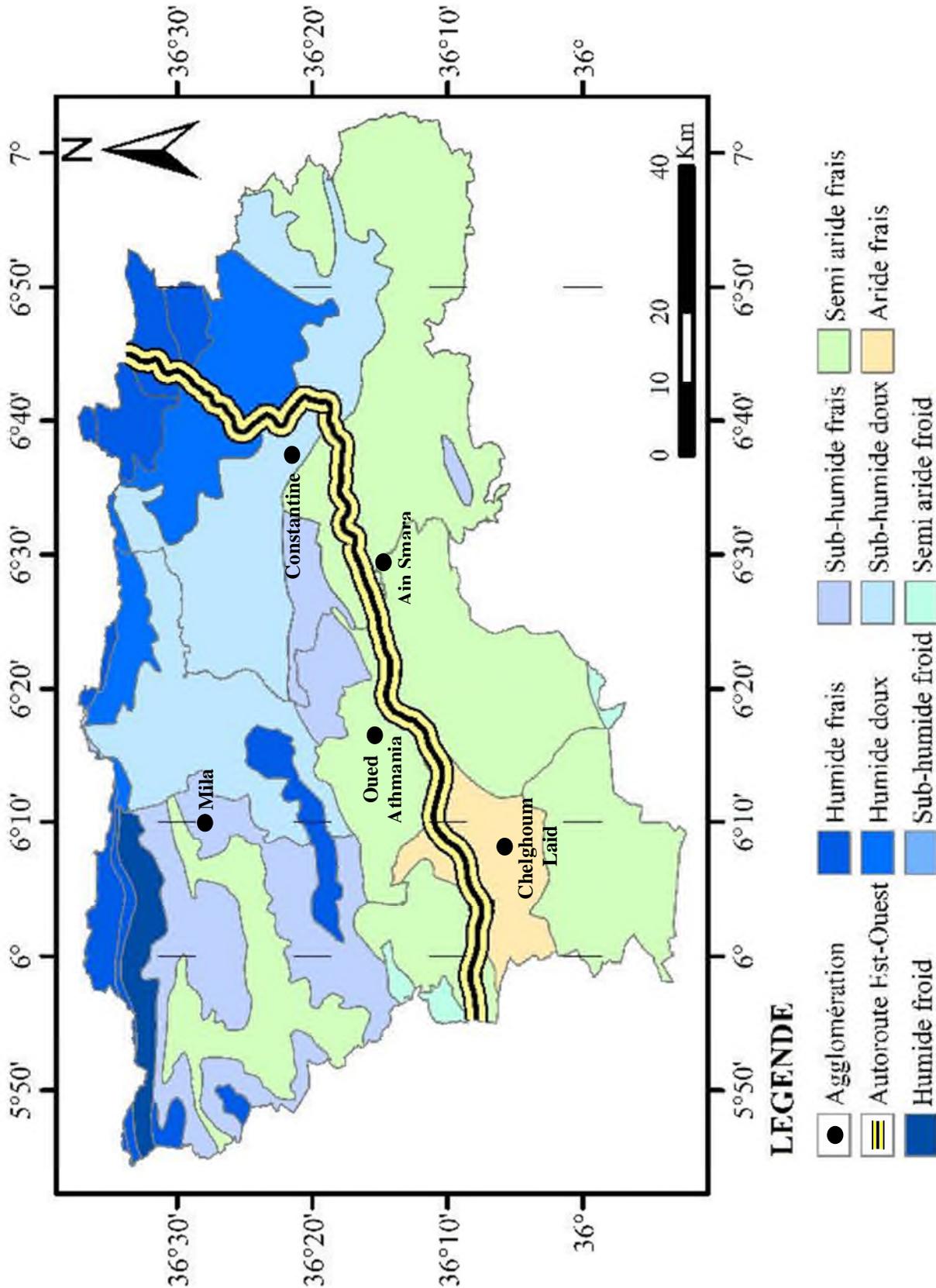
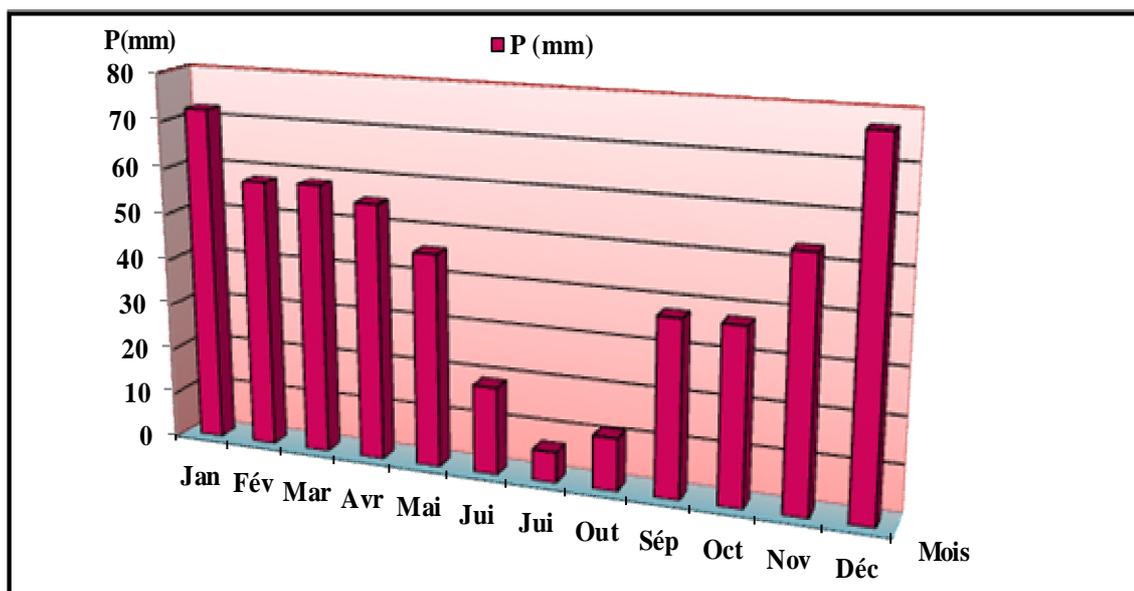


Figure 14 : Carte bioclimatique de la zone d'étude (source : BNEIDER 2008)

Les moyennes mensuelles des précipitations enregistrées par la station d'Ain El Bey sont représentées par le tableau ci-dessous :

**Tableau 9 :** Précipitation moyennes mensuelles dans la station d'Ain Bey (1971-2010)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sép	Oct	Nov	Déc	Module annuel	Module mensuel
P(mm)	72,38	57,89	58,2	55,88	45,91	18,87	6,5	11,18	37,64	37,51	53,35	77,13	532,44	44,37



**Figure 15 :** Moyennes mensuelles précipitations dans la station d'Ain Bey (1971-2010)

Les valeurs maximales des précipitations s'observent au mois de Décembre avec 77,13 mm, et celles minimales au mois de juillet avec 6,5 mm, (Fig.15).

#### 5.4.2.1.1. Répartition saisonnière des précipitations

Le tableau ci-dessous représente des totaux des précipitations dans chaque saison de l'année.

**Tableau10 :** Répartition saisonnière des précipitations dans la station d'Ain Bey (1971-2010)

Pluviométrie	AUTOMNE	HIVER	PRINTEMPS	ETE
P (mm)	128.5	207,4	159,99	36.55
P (%)	24,13	38,94	30,04	6.86

L'évolution saisonnière des précipitations (Tab. 10) montre que la saison hivernale est la plus pluvieuse. Ceci peut s'expliquer par la position géographique de la station de Ain Bey

qui se trouve dans une zone de transition entre les régions à régime subhumide plus au Nord et les régions à régime semi-aride plus au Sud vers les Hautes Plaines, (Fig. 16).

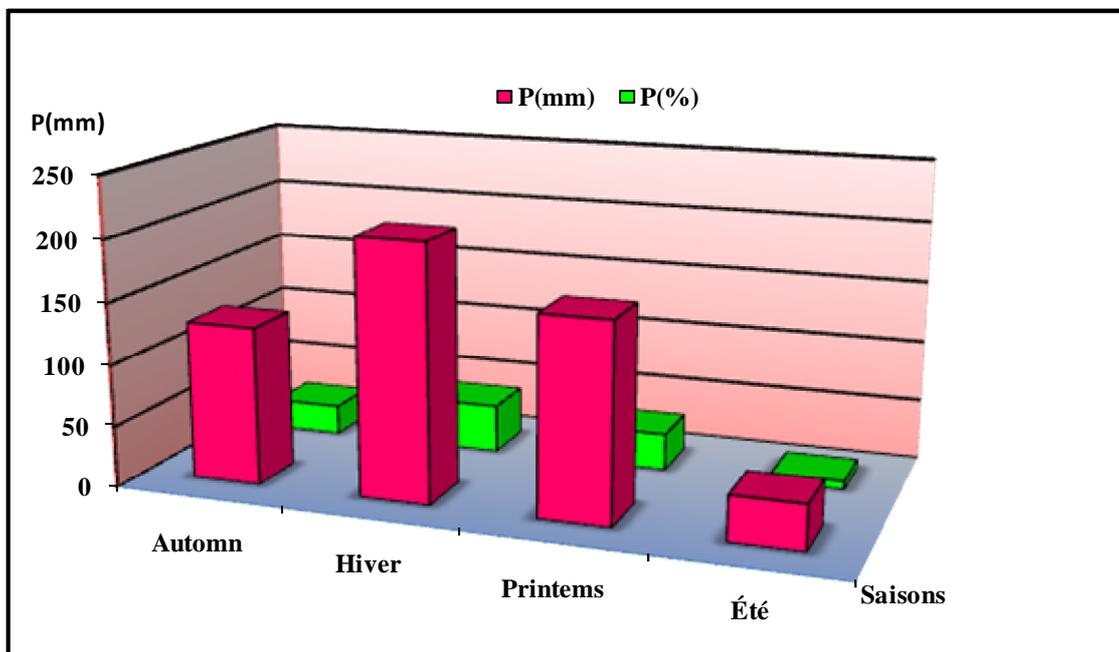


Figure 16: Répartition saisonnière des précipitations dans la station d'Ain Bey (1971-2010)

#### 5.4.2.2. Température

La température représente un facteur limitant de toute première importance, car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et de la communauté d'être vivant dans la biosphère.

La température constitue avec les précipitations, l'élément du climat le plus couramment relevé. Elle influe beaucoup sur les conditions générales de développement et de croissance des êtres vivants.

Les moyennes mensuelles des températures enregistrées par la station d'Ain El Bey sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Moyenne mensuelles des températures de la station d'Ain El Bey (1971-2010)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sép	Oct	Nov	Déc	Moy/an
T min	2,37	2,93	4,56	6,63	10,6	15,07	17,76	18,15	15,09	11,05	6,5	3,69	9,53
T Moy	6,52	7,49	9,71	12,2	16,97	22,02	25,19	25,28	21,12	16,55	11,03	7,69	15,15
T Max	11,59	12,93	15,57	18,497	23,96	29,72	33,68	33,42	28,46	23,05	16,66	12,77	21,69

Selon les données de la station, il s'avère que contrairement aux précipitations, les saisons thermiques sont bien tranchées. La saison chaude va de Mai à Octobre mois pendant

lesquels les températures moyennes mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, (Fig. 17).

La saison froide s'étend de Novembre à Avril. Le maximum des températures est atteint aux mois de Juillet avec 33,68 °C et le minimum se situe en Janvier autour de 2,73° C.

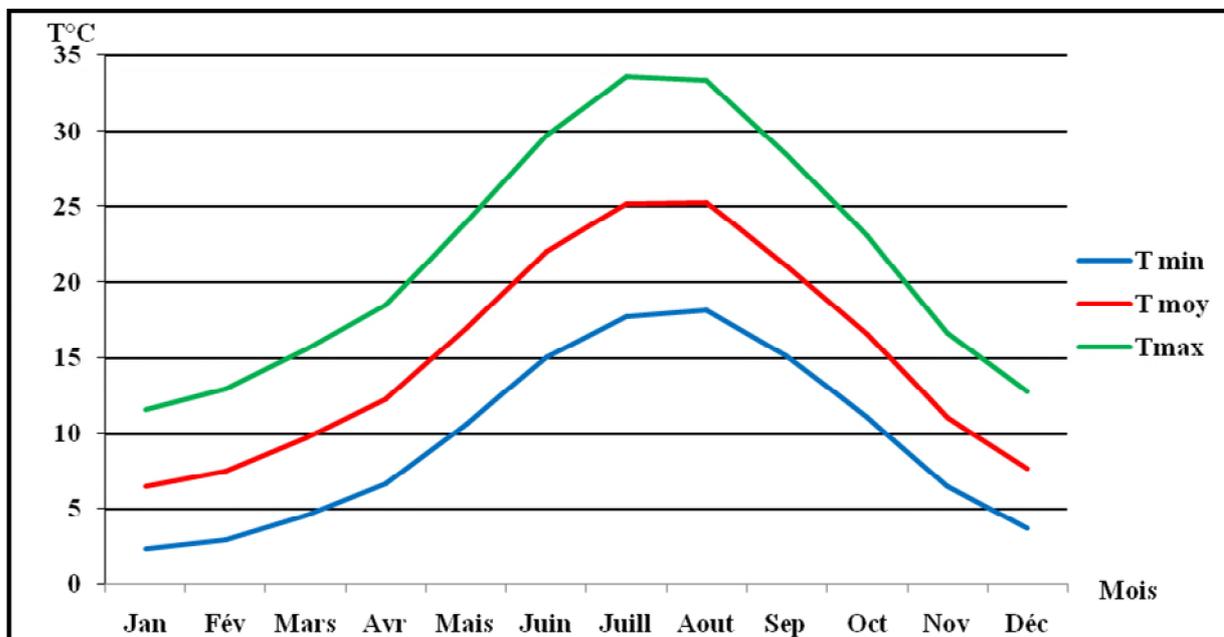


Figure 17 : Moyennes mensuelles des températures dans la station d'Ain Bey (1971-2006)

### 5.4.2.3. Vent

Le vent a une action directe ou indirecte sur les êtres vivant, en modifiant la température et l'humidité ambiantes. Il consiste en certains biotopes un facteur écologique limitant.

Les vents qui prédominent dans la zone d'étude sont ceux du Nord-Ouest et du Nord. Leur fréquence et leur violence atteignent leur maximum en hiver.

Ce sont généralement les vents du Nord-Ouest qui apportent les pluies d'hiver. Les vents du Nord-Ouest et du Nord soufflent en hiver et sont souvent froids. Ils entraînent parfois des chutes de neige importantes surtout en altitude. En été, les vents du Sud sont fréquents, ils se manifestent très tôt, à la fin du printemps sous forme de **Sirocco**. Ce dernier, peut être nuisible pour la végétation et peut accentuer l'évaporation, (Fig. 18).

Tableau 12: Moyennes mensuelles de la vitesse du vent dans la station d'Ain El Bey (1983-2006)

Moi	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sép	Oct	Nov	Déc	Moy
Vmoy (m/s)	2,15	2,08	2,63	2,69	2,61	2,85	2,72	2,83	2,40	2,43	2,38	2,28	2,50

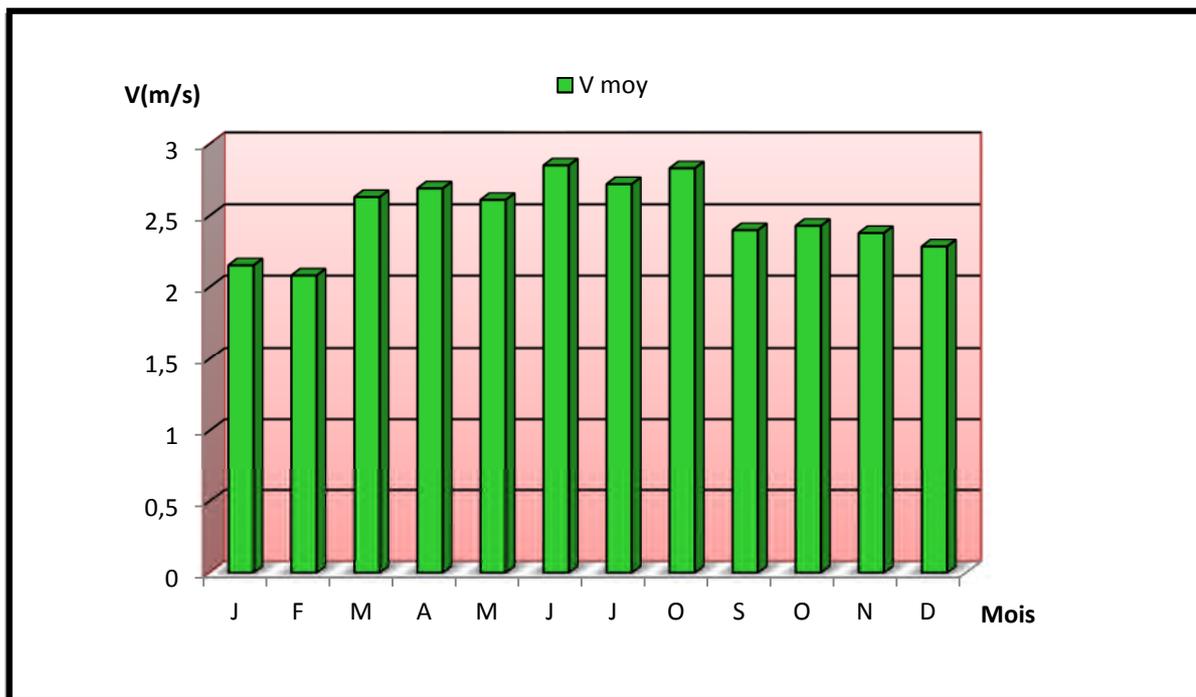


Figure 18 : Variations des vitesses moyennes mensuelles des vents dans la station d’Ain El Bey (1983-2006)

5.4.2.4. Humidité relative

Elle dépend de plusieurs facteurs tel que, de la quantité d’eau tombée, du nombre de jours de pluie, de la forme de ces précipitations, de la température, des vents et de la morphologie de la station considérée.

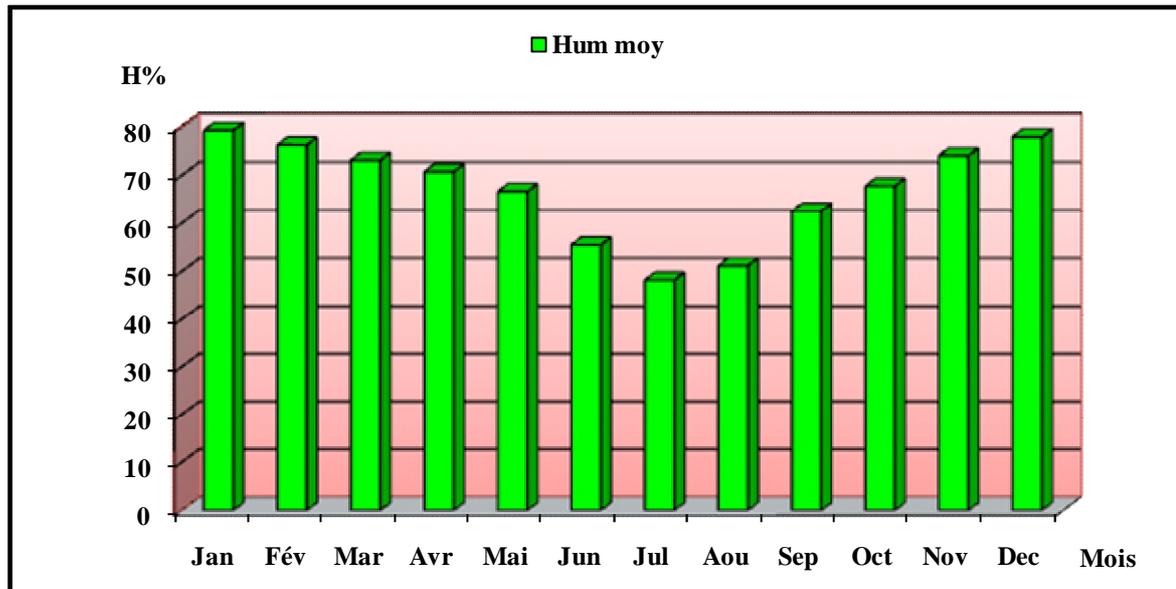
L’humidité atmosphérique est l’un des éléments essentiels du cycle hydrologique, source de toutes les précipitations, elle contrôle en outre pour une large part les taux d’évaporation du sol et de la couverture végétale.

L’humidité relative moyenne est déduite des lectures faites au psychromètre à 7h, à 13h et 18 h de la journée.

L’évolution mensuelle de l’humidité calculée dans la station d’Ain El Bey sur une période de vingt-quatre ans (1983-2006) est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 13: Humidité relative moyenne en (%) dans la station d’Ain El Bey (1983- 2006)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
Hum moy (%)	79,25	76,29	73,13	70,75	66,63	55,46	48,17	51,17	62,54	67,75	74,08	77,92	66,9283



**Figure 19:** Variations de l'humidité moyenne mensuelles dans la station d'Ain El Bey (1983- 2006)

L'évolution mensuelle de l'humidité calculée dans la station d'Ain El Bey montre que l'humidité est souvent supérieure à 50 % sauf en été avec une valeur minimale de l'ordre 48,17 % au mois de **juillet**.

La valeur maximale du mois de **janvier** est de 79,25 % ceci indique que l'atmosphère se trouve dans un état plus ou moins proche de la condensation, (Fig.19).

### 5.4.3. Synthèse bioclimatique

#### 5.4.3.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Pour Gausсен et Bagnouls, un mois est sec si le quotient des précipitations mensuelles exprimées en mm, par la température moyenne T exprimée en °C est inférieur à 2 ( $P / T < 2$ ).

Cette relation permet d'établir un Diagramme Ombro-thermique sur lequel les températures moyennes mensuelles sont portées à l'échelle double des précipitations correspondantes avec en abscisses les mois.

Lorsque la courbe de température passe au-dessus de la courbe des précipitations, la période correspondante est déficitaire en eau (période sèche).

Lorsque la courbe de température passe au-dessous de la courbe précipitation, la période correspondante est humide. Cette formule ( $P \leq 2T$ ) permet de construire un Diagrammes Ombrothermique traduisant la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes.

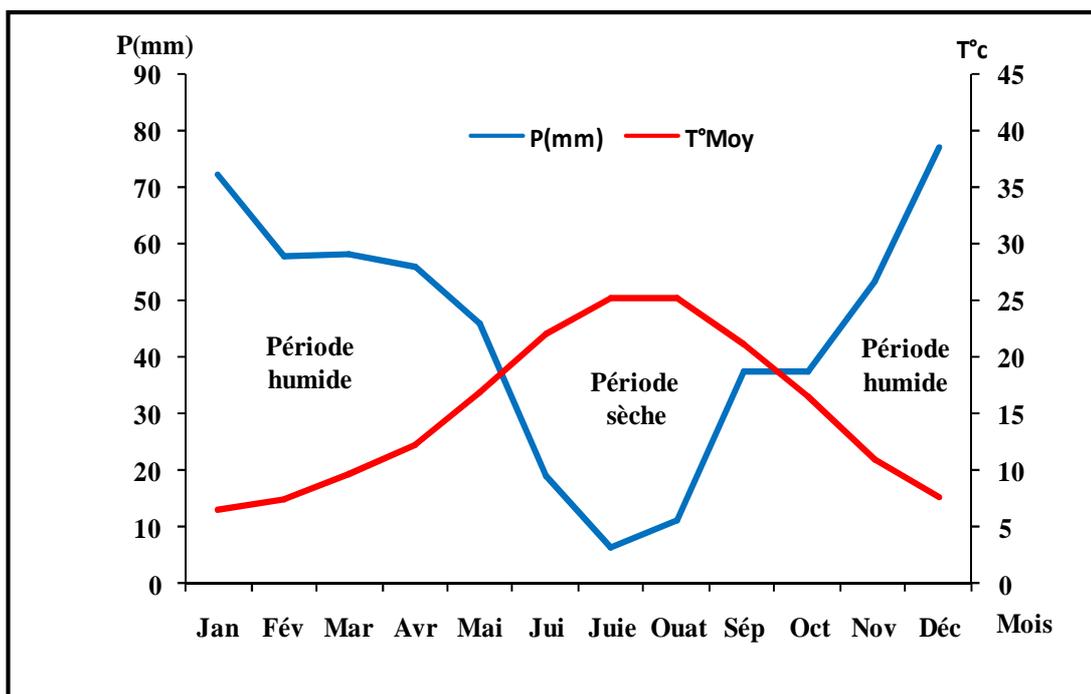


Figure 20: Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Le diagramme Ombrothermique, montre que la région de Constantine présente une période sèche qui s'étale depuis la fin de Mai jusqu'à la fin de Septembre, les mois qui restent représentent la période Humide, (Fig. 20).

#### 5.4.3.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER

Pour situer le climat auquel se situe la région d'étude, on utilise le Climagramme d'Emberger qui a défini les étages bioclimatiques en se basant sur les deux facteurs: le quotient pluviométrique « $Q_2$ » et la température du mois le plus froid« $m$ », (Fig. 21).

Le quotient a pour formule:

$$Q_2 = 2000 \frac{P}{M^2 - m^2}$$

Où:  $P$  = exprime les précipitations annuelles exprimé en (mm).

$M$ = la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en degrés Kelvin.

$m$ = la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en degrés Kelvin.

Pour la station d'Ain El Bey:

$$M = 33,42 + 273,15 = 306,57 \text{ K}$$

$$m = 2,37 + 273,15 = 275,52 \text{ K}$$

$$P = 532,48 \text{ mm.}$$

$$Q_2 = 58,92.$$

Tableau 14: Valeur du quotient pluviométrique d'EMBERGER de la station Ain El Bey

Station	P (mm)	M (°K)	m (°K)	Q2	Etage bioclimatique
Ain El Bey	532.48	306.57	275.52	58.92	Semi-aride

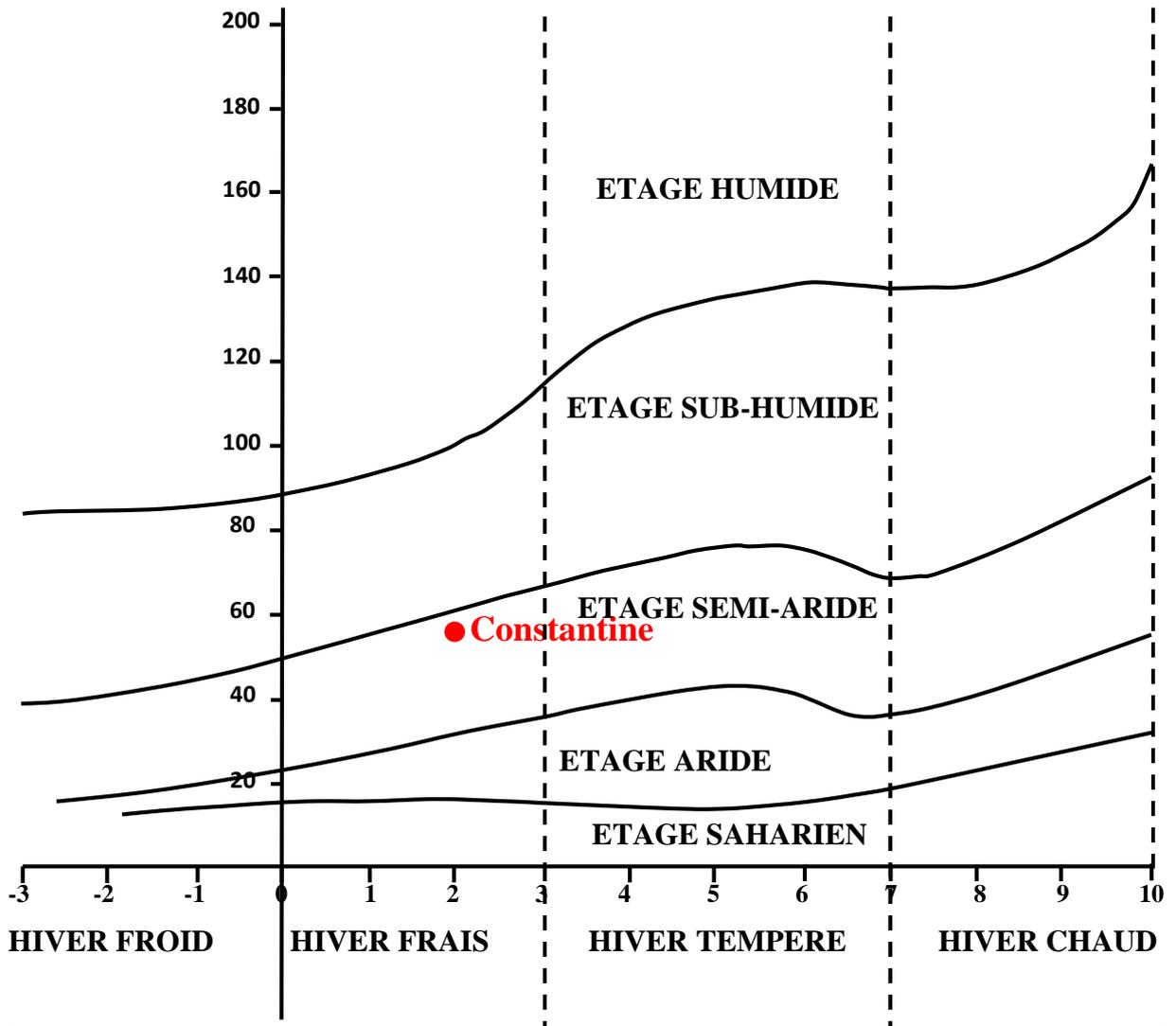


Figure 21 : Climagramme d'Emberger

### **5.5. Aperçu sur les caractéristiques générales des formations végétales et des terres de la région de Constantine**

La région de Constantine est caractérisée par la dominance des zones agricoles et agropastorale (de plaine, collines, piémonts et montagne) qui représentent 88% des superficies de la région. Les terres forestières constituées de forêts, de maquis et de reboisements ne couvrent que 9% de la superficie totale.

#### **5.5.1. Répartition des terres**

La répartition des terres autour de l'autoroute Est-Ouest c'est à dire dans la wilaya de Constantine et Mila se présente comme suit :

- Prédominance des terres agricoles qui sont constituées essentiellement de cultures et cultures associées aux parcours et qui occupent une superficie totale de 441160 Ha, soit 76% du territoire de la région.
- Les terres forestières (forêts, maquis et reboisements) occupent une superficies totale de 59058 Ha, soit un taux de boisement un peu plus de 10% du territoire.
- Les parcours (hors forêts et hors SAU) occupent une superficie de 58913 Ha, soit plus de 10%.
- Les terres improductives (urbains, carrières, affleurement rocheux) occupent 15459 Ha, soit plus de 2,5% de la superficie totale.

#### **5.5.2. Répartition des formations végétales**

Vers Constantine, Il existe une seule zone forestière, c'est celle des piémonts d'El Aria qui représente seulement 3% du territoire de la Wilaya, et 2 zones où la typologie forestière est appréciable mais non dominante, c'est la sous zone du massif d'Oum Settas et celle de Djebel Ouahch à typologie domaniale agricole et forestière en second lieu qui représente 15% de la superficie de la Wilaya. Cependant vers Mila, Les formations forestières (Forêts, maquis et reboisements) sont concentrées au niveau des six sous zones suivantes :

1. Hauts piémont de Grarem.
2. Massif forestier de Zouagha
3. Bas versant de Tamezguida -Zouagaha
4. Djebel Ouled Abdenmour .
5. Djbel Felténe
6. Djebel Grouz

Si les reboisements sont prédominants avec une superficie de 14086 Ha soit 44,72 % de la superficie forestière totale de la wilaya de Mila; il est de 34% (8412 Ha) dans la wilaya de Constantine.

**Tableau 15** : Répartition des formations forestières dans la zone d'étude

	Formations forestières (Ha)			
	Forêts	Maquis	Maquis arborés	Reboisements
<b>Constantine</b>	9437	7812	1905	8412
<b>Mila</b>	8860	8035	428	14086

## 5.6. L'autoroute Est-Ouest

### 5.6.1. Historique de L'autoroute Est-Ouest

L'autoroute Est-Ouest est un projet autoroutier traversant toute l'Algérie parallèlement aux côtes méditerranéenne. L'autoroute doit relier la ville de Maghnia (frontière marocaine) à El Taref (frontière tunisienne) en passant par les grandes villes algériennes telles que (d'ouest en est) Tlemcen, Oran, Chlef, Alger, Setif, Constantine, Skikda et Annaba sur une distance de 1 216 km (1 720 km en comptant les routes annexes et les ouvrages d'art). Avec 11,2 milliards de dollars, c'est un des plus grands projets de travaux publics de l'histoire. Au 9 Septembre 2013, 1 027 km sur les 1 216 km prévus ont été livrés.

### 5.6.2. Description de l'autoroute Est-Ouest

L'autoroute Est-Ouest est une autoroute spacieuse, conçue avec une multitude d'ouvrages d'art répondant aux normes internationales, avec des pénétrantes qui la relie à toutes les villes d'Algérie. Plusieurs voies ont été conçus (Tableau16) dont celle de Constantine.

Contribuer au développement économique du pays, les autoroutes sont des outils indispensables au développement économique et une composante majeure de l'aménagement du territoire. En Améliorant la sécurité routière, l'autoroute est une infrastructure plus sécurisée de 4 à 6 fois moins d'accidents. Notons que ce parc d'automobile (sans cesse croissant) se dispose entre 200 et 300 000 véhicules par an.

Si le projet de l'Autoroute Est-Ouest a démarré en 2006, plusieurs tronçons existaient déjà. Les nouveaux tronçons ont commencé à être livrés petit à petit depuis 2008.

Les tronçons Ouest et Centre, réalisés par le groupement chinois CITIC-CRCC, ont été livrés à la circulation, mais les travaux ne seront pas achevés avant 2016 sur la section Est, réalisés par le groupement japonais COJAAL.

### 5.6.3. Choix de l'autoroute Est-Ouest

Si les causes des pollutions et celles des véhicules automobiles en particulier sont bien connues en Afrique, leurs conséquences sur la santé publique, sur l'espace vital et sur l'environnement n'ont jamais fait l'objet d'une étude systématique. Des enquêtes renouvelées diligentées dans treize pays africains entre 1990 et 1995, sur le comportement environnemental des populations locales, ont révélé un degré d'ignorance notoire et d'inconscience caractérisée y compris chez les élites (Zinzindohoué., 1997).

En Algérie, l'une des causes de la pollution atmosphérique en milieu urbain est la densité du réseau routier qui supporte le trafic d'un parc automobile en croissance constante utilisant le plus souvent des carburants non conformes aux règles édictées en matière de protection de l'environnement.

L'évaluation des niveaux de pollution en proximité des axes de circulation est un travail complexe, compte tenu des nombreux facteurs à prendre en considération à cette échelle. Les concentrations en polluants enregistrées en bordure de voie dépendent en effet des émissions locales générées par le trafic automobile, des paramètres influant sur la dispersion des polluants (météorologie locale et configuration de voirie) et des niveaux de concentration de fond des zones environnantes. Chaque portion de voie représente donc un cas particulier en termes de caractérisation de la qualité de l'air (Rahall., 2009).

Dans ce contexte, le choix de l'Autoroute Est-Ouest (tronçon Constantine-Chalghoum- El Aid) l'une des grandes infrastructures que l'Algérie a connue, a pour but de bien illustrer le degré de pollution atmosphérique que l'autoroute peut causer en utilisant la végétation qui s'y trouve.

**Tableau16:** Tronçon de l'autoroute Est -Ouest de la région de Constantine

Rocades de Constantine (délivrée)	Voie de Constantine (délivrée)
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 1988 : Rocade Est (Constantine - El Khroub- El Gourzi) de 35 km</li> <li>❖ 2004 : Rocade Sud (Aïn Smara - Zighoud Youcef) de 31 km</li> <li>❖ 2008 : Rocade Nord-Est (Ali Mendjeli - El khroub) de 10 km</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Constantine Est (El Meridj)</li> <li>❖ Constantine -Sud-Est (Sissaoui) / El Khroub</li> <li>❖ Constantine -Sud (aéroport)</li> <li>❖ Nouvelle Ville Ali Mendjeli</li> <li>❖ Constantine -Ouest / Ain Smara</li> </ul>

## Chapitre 6 : Matériels et Méthodes

### 6.1 Introduction

Dans le cadre de ce travail, l'étude a porté sur l'utilisation des espèces végétales pérennes, pour l'évaluation de la pollution atmosphérique provenant du trafic routier situé au sein de l'autoroute Est -Ouest dans la région de Constantine. Tout en parcourant l'autoroute, nous avons recensés un ensemble d'arbres et d'arbustes, mais nous avons retenus que deux essences qui sont largement utilisées comme plantes ornementales pérennes dans le milieu urbain qui sont *Acacia retinoides* (Acacia des quatre saisons) et *Nerium oleander* (Laurier rose).

Le choix des deux espèces est lié à trois raisons essentielles ; d'abord comme ce sont les plus répandues sur l'autoroute Est-Ouest, elles sont susceptibles de traduire au mieux l'ampleur de la pollution atmosphérique (particule en suspension), elles appartiennent au sous-branchement des gymnospermes, arbres parmi les plus utilisées pour détecter cette pollution. L'utilisation des feuilles des végétaux ligneux contribue ainsi à la quantification de la pollution de l'air par les rejets des automobiles dans les centres urbains.

### 6.2. Plan d'échantillonnage

L'échantillonnage a été fait au hasard le long de l'autoroute Est-Ouest au niveau de la tranche Constantine-Chelghoum El Aid. La localisation des points d'échantillonnage s'effectue selon un transect au niveau des pénétrants de l'autoroute où sont localisées les stations d'échantillonnage. Ces stations sont composées par un ensemble de points d'échantillonnage situés à des distances bien défini du chaussé de l'autoroute (Aller et Retour). Les points d'échantillonnage sont déterminés selon la présence des deux espèces étudiées : Acacia des quatre saisons (*Acacia retinoides*) et le laurier rose (*Nerium oleander*). Pour cela nous avons choisi six stations d'échantillonnages allons d'El Mridj jusqu'à Chelghoum El Aid sur les deux cotés (allez et retour).

**Tableau 17** : Localisation et caractéristique des points d'échantillonnage

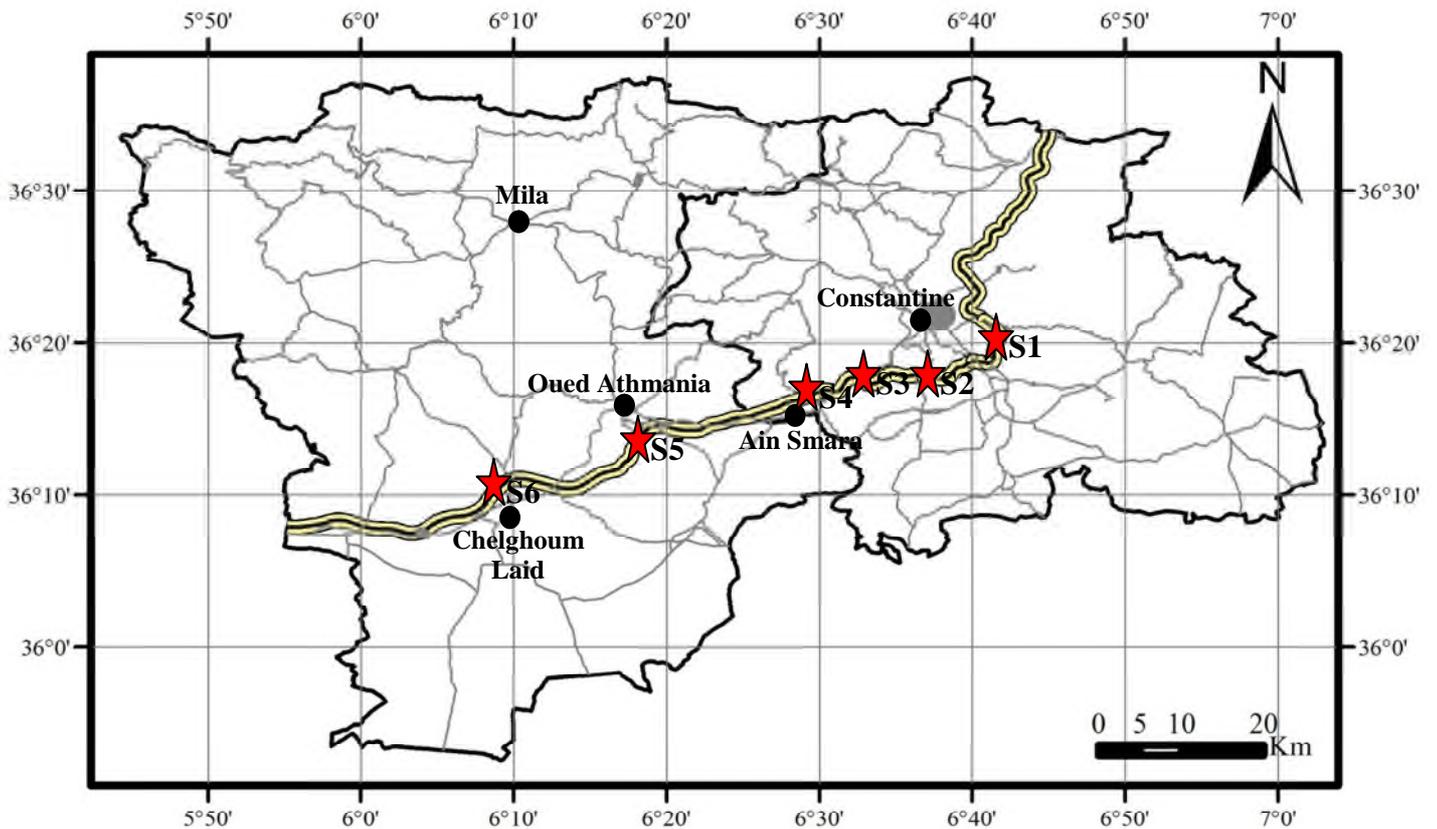
Site	Aller			Retour		
	Latitude(E)	Longitude(N)	Altitude(m)	Latitude(E)	Longitude(N)	Altitude(m)
S1	36° 20' 56,68"	6° 41' 28,49"	682	36 ° 20' 57,71"	6 ° 41' 29,88"	684
S2	36° 18,47"	6° 40,13"	583	36° 18' 46"	6° 40' 13,8"	608
S3	36° 17' 48,15"	6° 37' 1,37"	697	36° 17' 47,27"	6° 37' 1,5"	715
S4	36° 16' 52,43"	6° 30' 46,99"	613	36° 16' 48,77"	6° 30' 57,4"	620
S5	36° 14' 33,48"	6° 19' 28,53"	6620	36° 14' 32,25"	6° 19' 28,74"	693
S6	36° 10' 42,34"	6° 12' 8,43"	765	36° 10' 41,38"	6 ° 12' 8,16"	804

### 6.3. Stations d'échantillonnage

L'échantillonnage sur les six stations choisie a porté sur le coté « aller » et le coté « retour » de l'autoroute Est-Ouest au niveau des pénétrants. Nous ferons par la suite une comparaison entre les deux cotés pour chacune d'elles (Fig.22).

#### 6.3.1. Station d'El Mridj

Cette station est caractérisée par la prédominance du couvert végétale très dense ; la raison pour laquelle la plus part des citoyens constantinois le considérant comme une région de loisirs, (Fig.23).



**LEGENDE**

- Agglomération
- ★ Station de prélèvement
- ▬ Auto-route Est-Ouest
- ▬ Réseau routier
- ▬ Limite de wilaya

Figure 22 : Localisation des stations de prélèvement

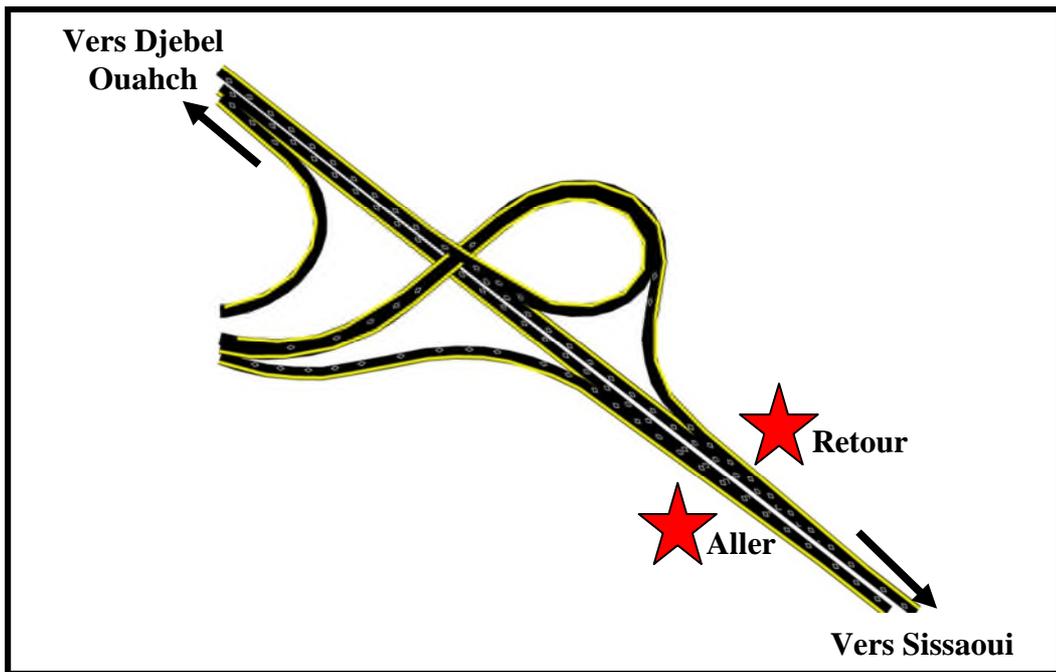


Figure 23 : Points d'échantillonnage de la station d'El Mridj

### 6.3.2. Station de Sissaoui

C'est une station très urbanisée, et le couvert végétal est plus ou moins dense, (Fig.24).

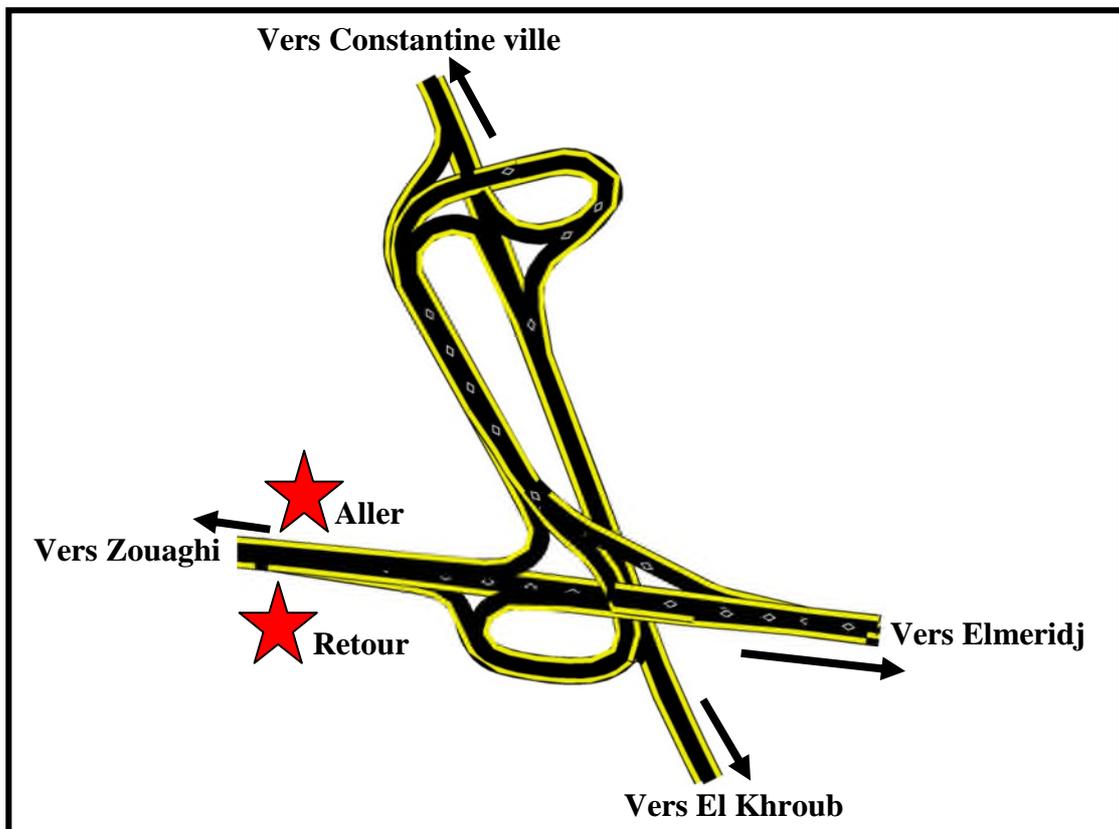


Figure 24 : Points d'échantillonnage de la station de Sissaoui

### 6.3.3. Station Zouaghi

La station de Zouaghi est une région très active en ce qui concerne l'urbanisation soit du côté « aller » ou du côté « retour » de l'autoroute Est Ouest. Le couvert végétal est un mélange entre arbres et arbustes, (Fig.25).

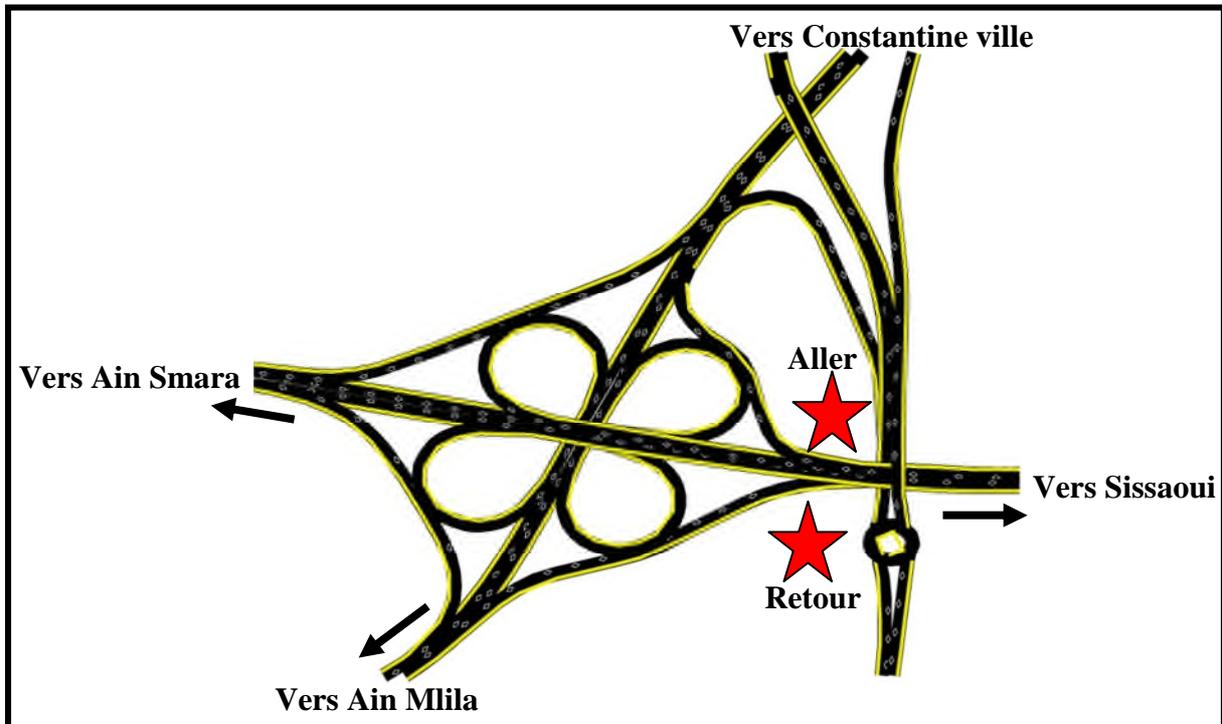


Figure 25 : Points d'échantillonnage de la station de Zouaghi

### 6.3.4. Station d'Ain Smara

En parcourant cette station, nous notons l'existence d'un couvert végétal très riche : des terres agricoles, espaces verts urbains et un espace forestier très dense. Les travaux de construction urbain à Ain Smara est une de ces caractéristiques, (Fig. 26).

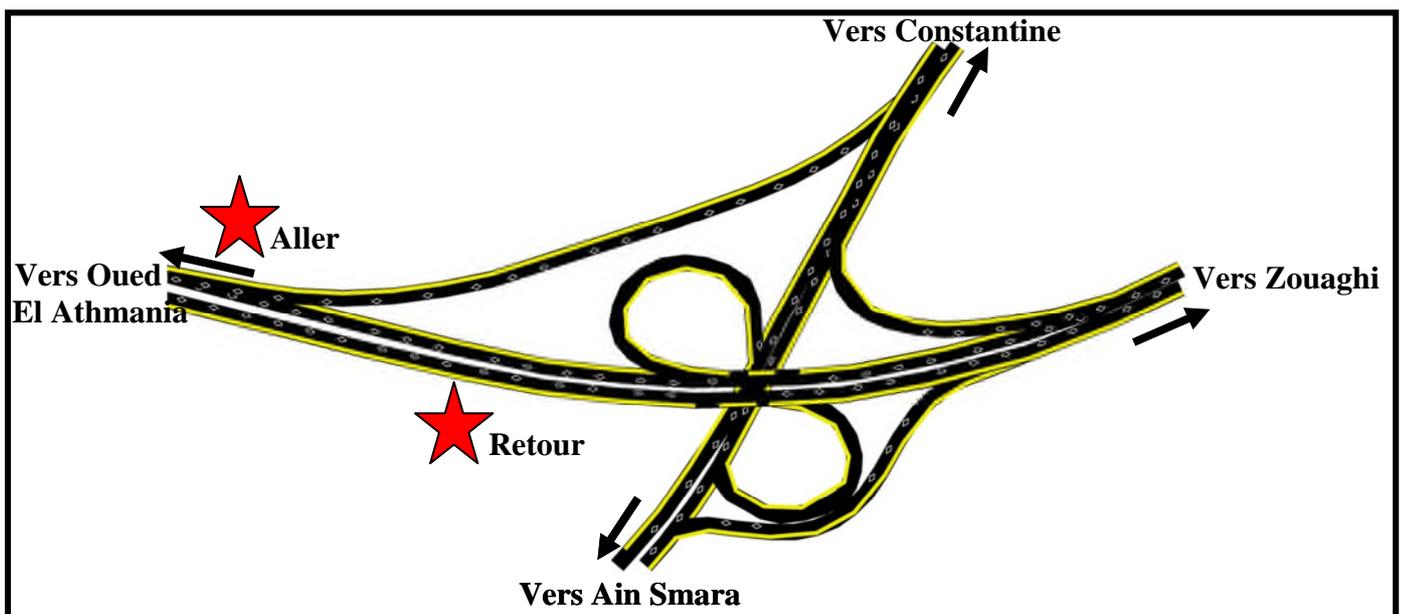


Figure 26 : Points d'échantillonnage de la station d'Ain Smara

### 6.3.5. Station d'Oued El Athmania

Cette station est située dans une région rurale où les terres agricole dominent largement avec un couvert forestier plus ou moins denses. L'agglomération est assez loin de l'autoroute, (Fig. 27).

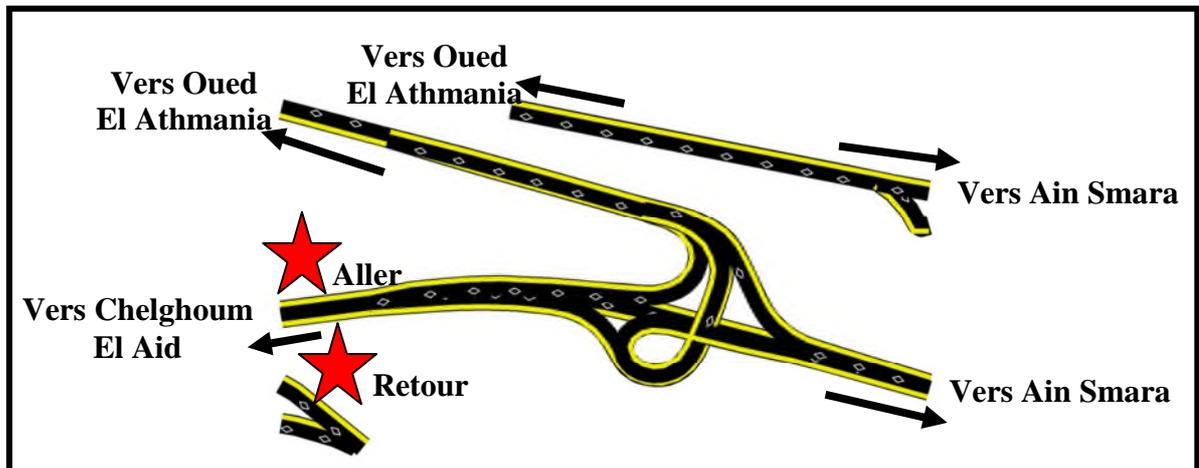


Figure 27 : Points d'échantillonnage de la station d'Oued El Athmania

### 6.3.6. Station de Chalghoum El Aïd

Le couvert végétal en cette station est de faible densité, mais les terres agricoles sont très caractéristiques de la région. L'agglomération est largement dominée par la ville de Chalghoum El Aïd, (Fig. 28).

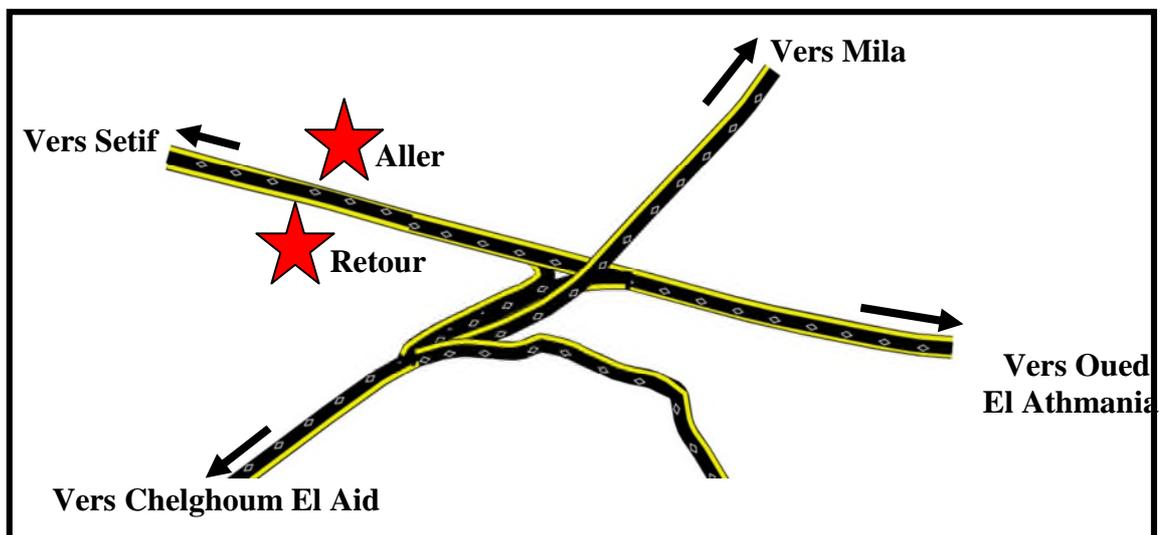


Figure 28 : Points d'échantillonnage de la station de Chalghoum El Aid

#### 6.4. Compagnes de prélèvement

Les compagnes de prélèvement permettent d'établir un suivi de l'évolution de la pollution dans le temps et dans l'espace le long de l'autoroute Est-Ouest. Elles renseignent également sur l'impact et l'étendue de la pollution atmosphérique d'une station à une autre.

Pour cela, trois compagnes de prélèvement pour les deux espèces ont été effectuées :

- La première compagne, est effectuée au mois de mai période de Floraison.
- La seconde, est en mois de juin, période de Fructification.
- La dernière compagne a été effectuée au mois de septembre, période de Maturation.

#### 6.5. Techniques de prélèvements des deux espèces

Pour chaque site nous avons prélevé des feuilles saines provenant de rameaux de l'année et aussi des années précédentes prises à une hauteur comprise entre 1,50 m et 2 m du sol pour éviter les contaminations dues aux projections venant du sol (Babacar., 1998). Nous avons prélevé, pour chaque station une cinquantaine de feuilles sur le pourtour de l'arbre pour avoir un échantillon moyen homogène. Nous n'avons épargné que les dernières feuilles juvéniles (photo 6 et 7). Les échantillons prélevés sont placés dans des sacs de papiers Kraft, étiquetés, afin de limiter les pertes d'eau par l'évapotranspiration jusqu'à l'arrivée au laboratoire.



**Photo 7 :** Fruits d'*Acacia retinoides* (Juin, 2013)



**Photo 8 :** Fleurs de *Nerium oleander*

## 6.6. Paramètres mesurés

L'objectif de cette étude est de montrer l'importance de la végétation en milieu urbain en captant le maximum de particules atmosphérique, dont la source d'émission est l'autoroute Est-Ouest, de voir si cette accumulation a un effet sur l'activité physiologique et biochimique du végétale dans le temps et dans l'espace. Pour cela nous avons choisi deux espèces végétales qui se trouvent le long de l'autoroute Est-Ouest : le laurier rose (*Nerium oleander*) et Acacia des quatre saisons (*Acacia retinoides*), (Photos 7 et 8).

### 6.6.1. Mesure des paramètres morphologiques des deux espèces

#### 6.6.1.1. Rapport matière Fraîche /matière Sèche

Le rapport matière fraîche/matière sèche (MF/MS) constitue un bon indicateur de la qualité de l'air. Pour cela, les feuilles fraîches des plantes sont coupées soigneusement. La matière sèche est déterminée après passage à l'étuve réglée à 85°C pendant 48h. Une fois les échantillons complètement secs (on vérifie cela par une constance du poids), leur poids sec est déterminé à l'aide d'une balance de précision. La biomasse sèche aérienne est exprimée en milligramme.

#### 6.6.1.2. Surface foliaire

L'appareil utilisé pour déterminer la surface foliaire est un PMA mètre. PMA est l'acronyme de *Portable Area Meter*. Le modèle utilisé est le LI-3000C de la compagnie LICOR (Photo. 9).

Le mode de fonctionnement du PMA mètre consiste à introduire une feuille de chacune des deux espèces entre deux feuilles de plastique transparentes qui sera par la suite passé lentement dans une large pince. La surface foliaire est obtenue par des valeurs affichées sur l'écran de l'appareil et exprimées en  $\text{cm}^2$  (Photo. 10).



**Photo 9 :** PMI 3003C Appareil de mesure de la surface foliaire



**Photo 10 :** Technique de mesure de la surface

## 6.6.2. Paramètres physiologiques

### 6.6.2.1. Dosage de la chlorophylle

La chlorophylle est extraite suivant la méthode de Francis *et al.* (1970) qui consiste à :

- macérer les feuilles dans un mélange d'acétone et d'éthanol (75 % et 25%), (03 répétition)
- couper les feuilles en petits morceaux et les mettre dans des boîtes noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière).
- procéder à la lecture des densités optiques des solutions à l'aide d'un spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes (645 et 663 nm), après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80% et d'éthanol à 20%.
- déterminer les teneurs en chlorophylles selon les formules suivantes :

$$CH\ a\ (mg/100mgMF) = 12,7\ DO(663) - 2,59\ DO(645) \times V/(1000 \times W)$$

$$CH\ b\ (mg/100mgMF) = 22,9\ DO(645) - 4,68\ DO(663) \times V/(1000 \times W)$$

$$CH\ t = CH\ a + CH\ b$$

Avec: V : Volume solution extraite. W : Poids de matière fraîche de l'échantillon.

### 6.6.2.2. Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par Troll et Lindesly (1955), simplifiée et mise au point par Dreier et Goring (1974) et modifiée par Monneveux et Nemmar (1986). Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique.

La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

L'extraction de la proline consiste à :

- prélever 100 mg de matière fraîche foliaire et les mettre dans des tubes à essai, (03 répétition)
- ajouter 2 ml de Méthanol à 40 %.
- porter les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) à l'ébullition au bain Marie à 85 °C pendant 60 min.
- prélever, après refroidissement, 1 ml de l'extrait de chaque tube et mettre dans de nouveaux tubes auxquels on ajoute 1 ml d'acide acétique.
- ajouter, dans chaque tube, 1 ml de mélange contenant 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide orthophosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, densité 1,7) et 25 mg de ninhydrine.
- porter le mélange à ébullition durant 30 min. La solution vire vers le rouge.
- extraire le chromatophore, après refroidissement des solutions, avec 5 ml de toluène; deux phases se séparent après agitation au vortex.
- prélever la phase supérieure contenant le chromatophore à laquelle on ajoute 5 mg du sulfate de sodium oxydé Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> à l'aide d'une spatule pour éliminer l'eau qu'elle contient.
- lire la densité optique des échantillons à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm, correspondant à son maximum d'absorption.
- calculer les concentrations (mg/100mg MF) à partir de l'équation déduite de la courbe d'étalonnage établie à l'aide de solutions allant de 0,01 à 0,2 mg de proline par ml de solution (Annexe 03).

### 6.6.2.3. Dosage des sucres solubles

L'extraction et le dosage des sucres solubles, dans les feuilles des deux plantes, sont faites selon la méthode de Dubois (1956) qui consiste à :

- mettre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai, (03 répétition).
- ajouter 2 ml d'éthanol à 80%.
- laisser le tout au repos pendant 48h.
- faire évaporer tout l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain Marie à 70°.

- après refroidissement, mettre dans chaque tube à essai 20 ml d'eau distillée.
- prendre 1 ml de la solution et ajouter 1 ml de phénol à 5 % en prenant soin de bien agiter.
- ajouter 2 ml d'acide sulfurique concentré et déposer les tubes à essai dans un bain de glace; les laisser reposer durant 25 min.
- procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm.
- calculer les concentrations (mg/100mg MF) à partir de l'équation déduite de la gamme d'étalonnage (annexe 03).

### 6.6.3. Technique d'extraction des particules en suspensions

Les techniques de lavage des feuilles s'incèrent dans l'étude du pouvoir de fixation-rétention des poussières par les plantes et sont indispensables pour le dosage d'éléments structurels. Afin de mesurer l'importance des dépôts superficiels, on a recours à différentes techniques de lavage tel que celle de Stenbock-Farmer (1978), (Tab. 18).

Deux essais sont réalisés : dans un premier essai, l'EDTA a été utilisé comme solution de lavage. Dans le second essai, l'HCl est utilisé. Il y a lieu de comparer les quantités de poussière extraites pour chaque solution pendant des temps de traitement de 5 et de 10 minutes.

Chaque lot de feuilles est placé dans un Erlen Meyer contenant 100 ml de la solution de lavage, agité sur agitateur magnétique ( $\approx 100$  mvt/min) pendant 5 ou 10 minutes. Les feuilles sont ensuite enlevées de la solution.

Les solutions empoussiérées et les références (solutions agitées sans feuilles) sont filtrées sur filtre Millipore ( $45\mu\text{m}$ ) préalablement tarés à travers un dispositif de filtration Sartorius (GSWP 0470024 ea GS 0,22 White plain), (photos 11 et 12).



**Photo 11 :** Préparation des échantillons pour l'agitation pour les deux espèces (Juin, 2013)

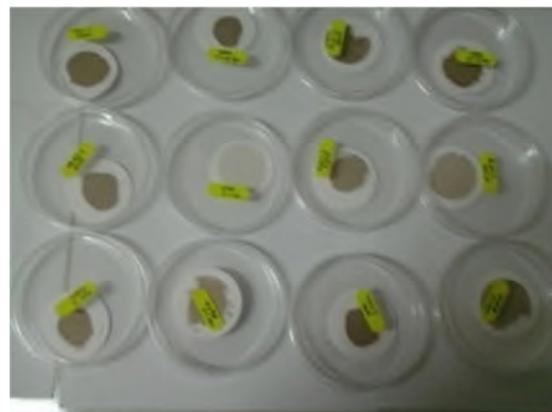


**Photo 12 :** Filtration des échantillons (Juin, 2013)

Les Erlen Meyers sont lavés avec 50 ml d'eau bidistillée que l'on filtre également. Le dispositif de filtration précédent le filtre est aussi rincé avec 50 ml d'eau bidistillée. Les filtres sont mis à évaporer à 85°C pendant 20 heures dans des boîtes de Pétri, puis placés dans un dessiccateur jusqu'à ce qu'ils atteignent la température ambiante de 20°C. Les filtres empoussiérés sont pesés de même que les filtres références sur une balance de précision (Photos 13 et 14).



**Photo 13** : Préparation des filtres (dessiccation à l'étuve et pesage au balance de précision) (Juin. 2013)



**Photo 14** : Les filtres après dessiccation à l'étuve (Juin, 2013)

**Tableau 18** : Technique de lavage des feuilles

Espèces	<i>Acacia retinoides</i>	<i>Nerium olander</i>
Nombre de feuille/lot	10	10
Durée des traitements	5min - 10min	5min - 10min
Nombre de traitements	24(pour chaque compagne)	24(pour chaque compagne)

### 6.7. Analyse statistique

Les données obtenues pour chaque paramètre, ont été interprétées statistiquement au moyen de l'analyse de la variance (**Dagnelie., 1999**) en utilisant le logiciel «EXEL STAT PRO ». Cette méthode permet de comparer les moyennes (de chaque paramètre) des différentes stations pour les deux coté (aller et retour) et de chercher là où ces moyennes sont considérées comme étant égales, si au contraire, il y a une différence significative (valeur de P inférieure à la valeur de  $\alpha$ ), le test de "Newman et Keuls" (**Dagnelie, 1999**) permet de compléter l'interprétation, et d'identifier les groupes de moyennes homogènes représentée par les stations d'échantillonnage (aller et retour) pour chaque paramètre étudié.

Pour compléter notre travail, nous avons procédé à l'analyse en composante principale (ACP), qui sert à mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles. Le principe de l'ACP consiste à remplacer une famille de variables par de nouvelles variables de variance maximale, non corrélées deux à deux et qui sont des combinaisons linéaires des variables d'origine.

Ces nouvelles variables, appelées composantes principales, définissent des plans factoriels qui servent de base à une représentation graphique plane des variables initiales. L'interprétation des résultats se restreint généralement aux deux premiers plans factoriels, sous réserve que ceux-ci expliquent la majeure partie de la variance du nuage des variables initiales.

# **TROISIÈME PARTIE**

## **Résultats et Discussions**

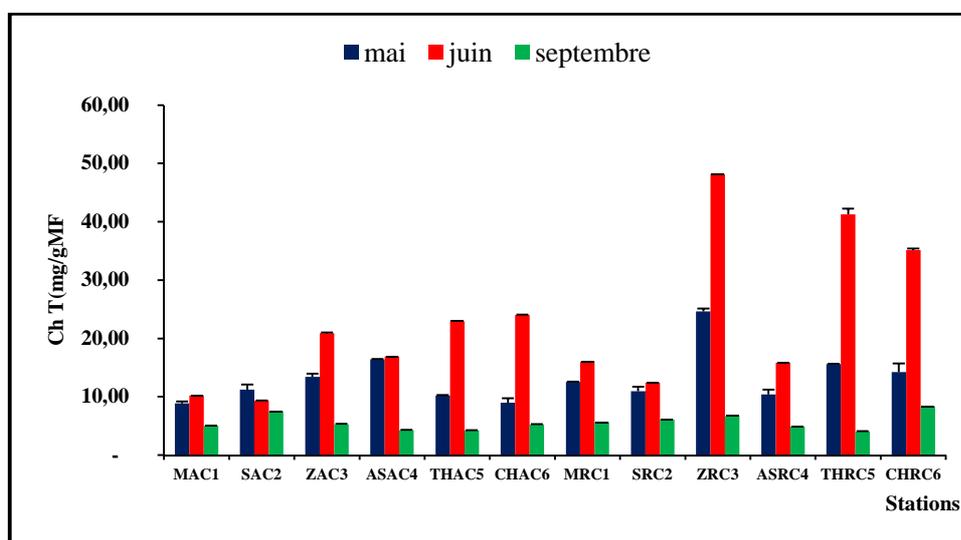
## Chapitre 7 : Résultats et Discussion

### 7.1. Paramètres physiologiques

#### 7.1.1. Chlorophylle total

- *Acacia retinoïdes*

Les résultats obtenus du dosage de la chlorophylle totale indiquent des variations bien distinctes entre les stations (aller et retour) durant les trois campagnes de prélèvement (mai, juin et septembre). En effet, au mois de mai (période de floraison), la moyenne maximale est enregistrée à ZRC3 de ( $24.60 \pm 0.50$  mg/g MF), (Fig. 29). La valeur minimale est enregistrée à MAC1 de ( $8.85 \pm 0.33$  mg/g MF).



**Figure 29 :** Variation de la teneur en chlorophylle totale (mg/g MF) en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoïdes*

Au mois de juin la valeur la plus élevée est enregistrée au niveau de la station ZRC3 de ( $48.15 \pm 0.02$  mg/g MF); et la valeur la plus faible pour ce même mois est de ( $9.30 \pm 0.04$  mg/g MF). Par opposition, le mois de septembre représente les valeurs accumulées de la chlorophylle totale les plus faibles par rapport aux autres mois de prélèvement d'une moyenne de ( $4.03 \pm 0.04$  mg/g MF) représenté par la station de THRC5.

Ces résultats trouvent leur confirmation dans le test de l'analyse de la variance (annexe 04) qui montre l'existence d'une différence très hautement significative ( $Pr < 0.000$ ) en mois de mai. Effectivement, le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir cinq et quatre groupes homogènes pour l'aller et le retour respectivement.

Sur le coté aller, le test de Newman et Keuls a révélé cinq groupes représentatif de ce paramètre. Le groupe (A) représente la station de ASAC4, le groupe (B) représente la station de ZAC3, le groupe (C) représente la station de SAC2. Le groupe intermédiaire (CD) entre le groupe (C) et le groupe (D) représente la station de THAC5 portant des caractéristiques des deux groupes (C et D). Le dernier groupe (D) où les valeurs de ce paramètre sont les plus faibles représenté par les stations de CHAC6 et MAC1.

L'analyse de la variance pour le mois de juin, révèle des différences hautement significatif entre les variable ( $Pr < 0.0001$ ) et le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait apparaitre six groupes dont le premier groupe (A) représenté par CHAC6, le deuxième groupe (B) est représenté par THAC5, le troisième groupe (C) correspond à la station de ZAC3, le quatrième groupe (D) représente ASAC4, le cinquième groupe (E) représente MAC1 et le dernier groupe (F) représente SAC2. Alors que pour le mois de septembre ce test révèle seulement trois groupes dont (A) présenté par SAC2, le groupe (B) représenté par ZAC3, CHAC6 et MAC1, et le groupe (C) représenté par ASAC4 et THAC5.

Pour les stations du coté retour de l'autoroute Est Ouest en mois de juin et septembre, l'analyse de la variance montre des différences hautement significatif ( $Pr < 0.0001$ ), le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait apparaitre cinq groupes pour le mois de juin. La station de ZRC3 est affecté au groupe (A), la station de THRC5 est affecté au groupe (B), la station de CHRC6 est affecté au groupe (C) ainsi que les stations de MRC1 et ASRC4 qui sont affectés au groupe (D). La station de SRC2 qui représente les valeurs les plus faibles de ce paramètre est affectée au dernier groupe (E). En mois de septembre par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5%, nous avons enregistré six groupes (A), (B), (C), (D), (E) et (F) dont les stations de CHRC6, ZRC3, SRC2, MRC1, ASRC4 et THRC5 sont affectés respectivement (annexe 4).

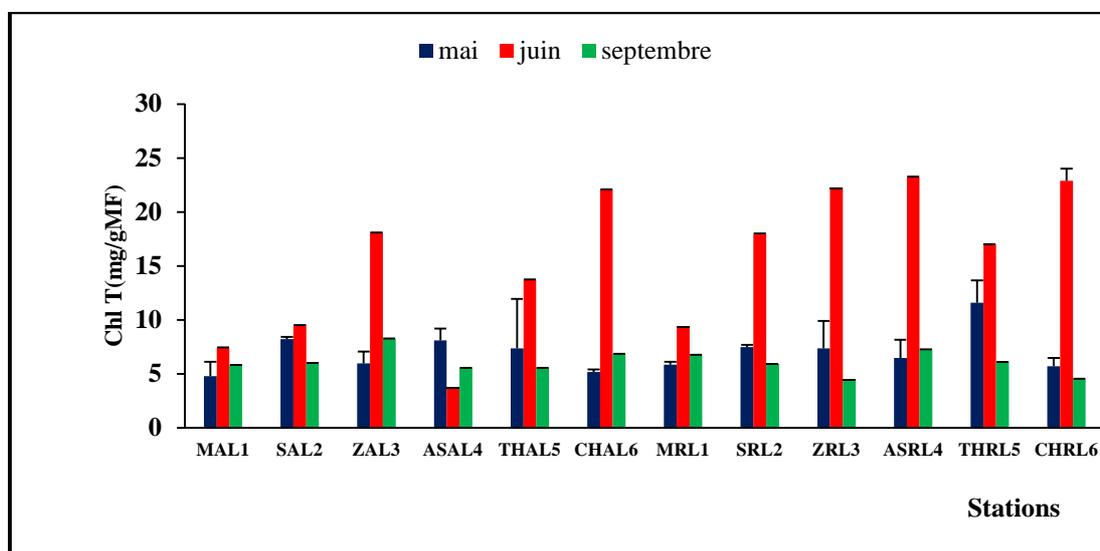
- ***Nerium oleander***

On enregistre la teneur maximale en chlorophylle totale en mois de juin de ( $23.22 \pm 0.05$  mg/g MF) au niveau de la station ASRL4, alors que la valeur minimale est en ASAL4 de ( $3.73 \pm 0.008$  mg/g MF) pour le même mois. En mois de mai et septembre, les valeurs enregistrées de la teneur en chlorophylle totale sont plus ou moins faible par rapport au mois de juin dont nous avons enregistré la teneur maximale au niveau de THRL5 (mois de mai) qui ne dépasse pas la valeur de ( $11.58 \pm 2.08$  mg/g MF), (Fig.30).

Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance qui révèle une différence très hautement significative ( $Pr < 0,0001$ ) en mois de juin et septembre (annexe 4).

Pour l'aller, en mois de juin, le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a révélé six groupes homogènes. Le groupe dominant (A) représenté par la station de CHAL6, le deuxième groupe (B) représenté par la station de ZAL3, le troisième groupe (C) est représenté par la station de THAL5, le groupe (D) représenté par la station de SAL5. Les groupes (E) et (F) sont représentés respectivement par les stations de MAL1 et ASAL4 avec des valeurs les plus faibles pour ce paramètre. Pour le retour, ce même test a fait ressortir trois groupes homogènes dont le groupe dominant (A) est représenté par les stations ASRL4, CHRL6 et ZRL3. Le deuxième groupe (B) représenté par SRL2 et THRL5, et le troisième groupe (C) représenté par MRL1 (annexe 04).

En mois de septembre (coté aller), par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5%, a fait ressortir cinq groupes homogènes. Le groupe (A) est représenté par ZAL3, le groupe (B) représenté par CHAL6, le groupe (C) est représenté par SAL2, le groupe (D) par MAL1 et enfin le groupe (E) représente THAL5 et ASAL4. Alors que sur le coté retour ce même test a fait ressortir six groupes homogènes. (A) (B), (C) (D), (E) et (F) représentant respectivement les stations ASRL4, MRL1, THRL5, SRL2, CHR6 et ZAL3. Pour le mois de mai (aller et retour), l'analyse de la variance pour un facteur montre une différence non significatif entre les stations pour ce paramètre ( $Pr=0.329$  et  $Pr=0.117$ ) (annexe 05).



**Figure 30:** Variation de la teneur en chlorophylle totale (mg/g MF) en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

### 7.1.2. Chlorophylle (a)

- *Acacia retinoides*

Comme le montre la figure (31), la teneur en chlorophylle (a) varie en fonction des stations (aller et retour). En mois de mai nous avons enregistré des valeurs plus ou moins faible dont la plus faible est de l'ordre de ( $1.55 \pm 0.01$  mg/g MF) au niveau de la station de THAC5 et la plus élevée est de ( $5.71 \pm 0.40$ mg/g MF) représenté par CHAC6. Egalement pour le mois de septembre où la teneur en chlorophylle (a) est aussi plus faible dont nous avons enregistré une valeur maximale de ( $1.75 \pm 0.02$  mg/g MF) et la valeur minimale est de ( $0.83 \pm 0.01$  mg/g MF) enregistré à MAC1.

Pour le mois de juin par contre nous avons enregistré des teneurs plus élevé (aller et retour) de ( $43.72 \pm 0.03$  mg/g MF), ( $37 \pm 0.08$  mg/g MF) et ( $31.18 \pm 0.39$  mg/g MF) respectivement à ZRC3, THR5 et CHRC5. Les valeurs minimales sont enregistrées au niveau de SAC2 et MRC1 respectivement de ( $2.07 \pm 0.4$  mg/g MF) et ( $2.23 \pm 0.01$  mg/g MF).

L'Analyse de la variance nous a données des différences hautement significatif pour chaque paramètre étudié (coté aller) ( $Pr < 0.0001$ ) et grâce au test de Newman et Keuls au seuil de 5% on a pu obtenir pour les trois mois de trois à cinq groupes homogènes, (annexe 4).

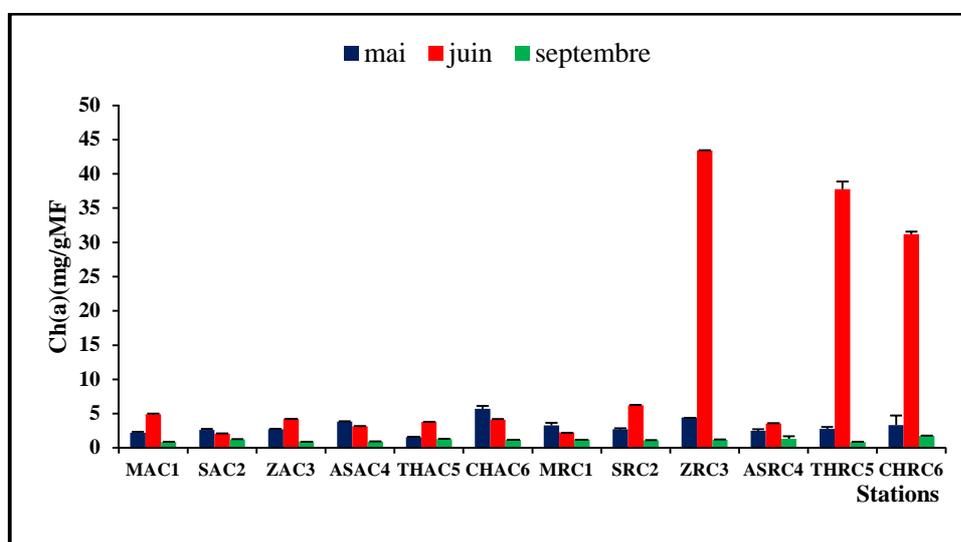
Pour le mois de mai (coté aller) on a eu cinq groupes dont le groupe dominant est le groupe (A) représenté par la station CHAC6, le groupe (B) représenté par ASAC4, le groupe (C) est représenté par ZAC3 et ASC2, le groupe (CD), un groupe intermédiaire représenté par la station MAC1 qui porte des caractéristiques du groupe (C) et le groupe (D). Le groupe (D) représenté par la station de THC5. L'analyse de la variance pour un facteur (coté retour de l'autoroute Est-Ouest) pour ce mois est non significatif ( $Pr < 0.176$ ) et le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a révélé un seul groupe (A) représenté par ZRC3, MRC1, CHRC5, THRC5, SRC2 et ASRC4.

En mois de juin, l'analyse de la variance montre une différence hautement significatif ( $Pr < 0.0001$ ) et le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a révélé cinq groupes dont le groupe dominant (A) représenté par MAC1, le deuxième groupe (B) est représenté par ZAC3 et CHAC6, le troisième groupe (C) est représenté par THAC5, le quatrième groupe (D) représenté par ASAC4. Enfin le groupe (E) est représenté par la station de SAC2. Le coté retour de ce mois, l'analyse de la variance est très hautement significatif ( $Pr < 0.0001$ ) et le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a révélé cinq groupes homogènes. La station ZRC3 est affecté au groupe dominant (A), la station de THRC5 est affecté au groupe (B), la station de CHRC6 est affecté au groupe (C) et la station de SRC2 au groupe (D). Le dernier groupe

(E) est représenté par les deux stations ASRC4 et MRC1 qui ont les valeurs les plus faibles de ce paramètre.

Le mois de septembre (coté aller), a révélé seulement trois groupes qui sont le groupe (A) présenté par THAC5 et SAC2, le deuxième groupe (B) est représenté par CHAC3 et le troisième groupe (C) représenté par ZAC3, ASAC4 et MAC3.

Le coté retour de ce paramètre et pour ce mois, le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a confirmé l'analyse de la variance ( $Pr < 0.0001$ ). Nous avons obtenu par le biais de ce test trois groupes. Le groupe (A) qui est un groupe dominant représente la station CHRC6, le groupe (AB) est un groupe intermédiaire portant les caractéristiques des deux groupes (A) et (B). Il est représenté par les stations d'ASAC4, MAC1, ZAC4, et SAC2. Le groupe (B) représenté par la station de THAC5, (annexe 4).



**Figure 31 :** Variation de la teneur en chlorophylle (a) (mg/g MF) en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoides*

- *Nerium oleander*

La teneur en chlorophylle (a) varie d'une station à l'autre durant les trois campagnes de prélèvement, (fig. 32). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en mois de mai et juin de ( $4.20 \pm 0.04$  mg/g MF) et ( $4.08 \pm 0.007$  mg/g MF) respectivement à ZAL3 et ASAL4. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées en mois de septembre dont les teneurs ne dépassent pas ( $2.43 \pm 0.007$ )mg/g MF.

Pour le mois de mai (coté aller), le résultat de l'analyse de la variance montre qu'il n'existe pas de différence significative pour ce paramètre entre les stations ( $Pr = 0,329$ ), (annexe 4). Alors qu'en mois de juin (coté aller) l'analyse de la variance nous donne une différence très hautement significatif entre les stations avec ( $Pr < 0,0001$ ).

Effectivement les résultats ont été confirmés par le test de Newman et Keuls au seuil de 5% qui a fait ressortir cinq groupes homogènes, le groupe dominant (A) représenté par ZAL3 avec les valeurs les plus élevées ; le groupe (B) représenté par la station de CHAL6 et le groupe (C) représenté par THAL3. La station de MAL1 est affectée au groupe (D). Le groupe (E) représenté par les stations de SAC2 et ASAC4 avec les valeurs les plus faibles. En mois de septembre, l'analyse de la variance a donné une différence très hautement significative ( $Pr < 0,0001$ ) ; comme le confirme le test de Newman et Keuls au seuil de 5% qui a fait ressortir six groupes homogènes, le groupe dominant (A) représenté par CHAL6, le groupe (B) représenté par ZAL3, le groupe (C) représenté par ASAL4 et le groupe (D) représenté par THAL5, le groupe (E) représenté par la station de SAC2 et enfin le groupe (F) représenté par la station de MAC1.

En ce qui concerne le côté retour de l'autoroute Est Ouest, en mois de mai, l'analyse de la variance pour ce paramètre nous montre une différence très significative ( $Pr = 0,002$ ). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait apparaître deux groupes homogènes, le groupe (A) représente la station de CHRL6 et le groupe (B) représente THR5, SRL2, ASRL4, ZRL3 et MRL1 avec les teneurs les plus faibles en ce paramètre. En mois de juin, le test de l'analyse de la variance est non significatif ( $P = 0,242$ ), donc il n'y a pas de relation entre les stations en ce qui concerne ce paramètre. Alors qu'en mois de septembre l'analyse de la variance montre une différence très hautement significative de ce paramètre entre les stations ( $Pr < 0,000$ ). Trois groupes homogènes ont été ressortis par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5%, le groupe (A) représenté par ASRL4, le groupe (B) représenté par THRL5, MRL1 et SRL2. Les stations de CHRL6 et ZRL3 sont affectées au groupe (C) où les valeurs sont les plus faibles.

### 7.1.3. Chlorophylle (b)

- *Acacia retinoides*

La figure (33) montre des teneurs en chlorophylle (b) qui varient dans le temps et dans l'espace. En effet la valeur la plus élevée est enregistrée en mois de mai et juin avec une moyenne de ( $19,61 \pm 0,29$  mg/g MF) et ( $19,89 \pm 0,05$  mg/g MF) respectivement pour ZRC3 et CHAC6. Les valeurs minimales sont obtenues par la station de CHAC6 et THRC5 de ( $3,27 \pm 0,33$  mg/g MF) et ( $3,50 \pm 0,095$  mg/g MF) respectivement. En mois de septembre la teneur en chlorophylle (b) était plus ou moins faible dont la valeur maximale est de ( $6,59 \pm 0,067$  mg/g MF) à CHRC6 et la plus faible de ( $2,94 \pm 0,028$  mg/g MF) à THAC5.

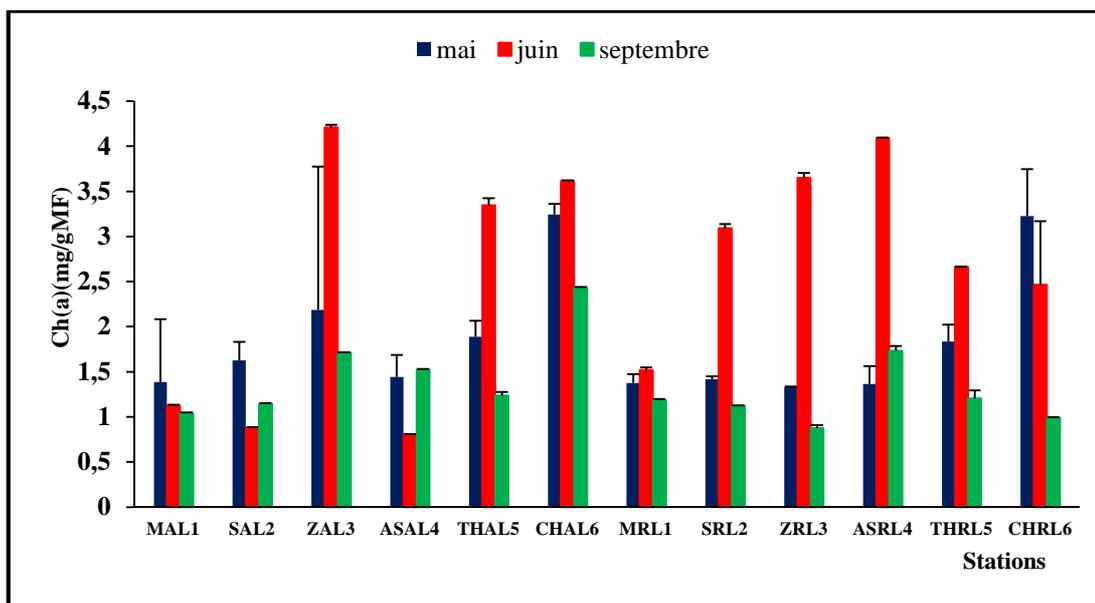


Figure 32: Variation de la teneur en chlorophylle (a) (mg/g MF) en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

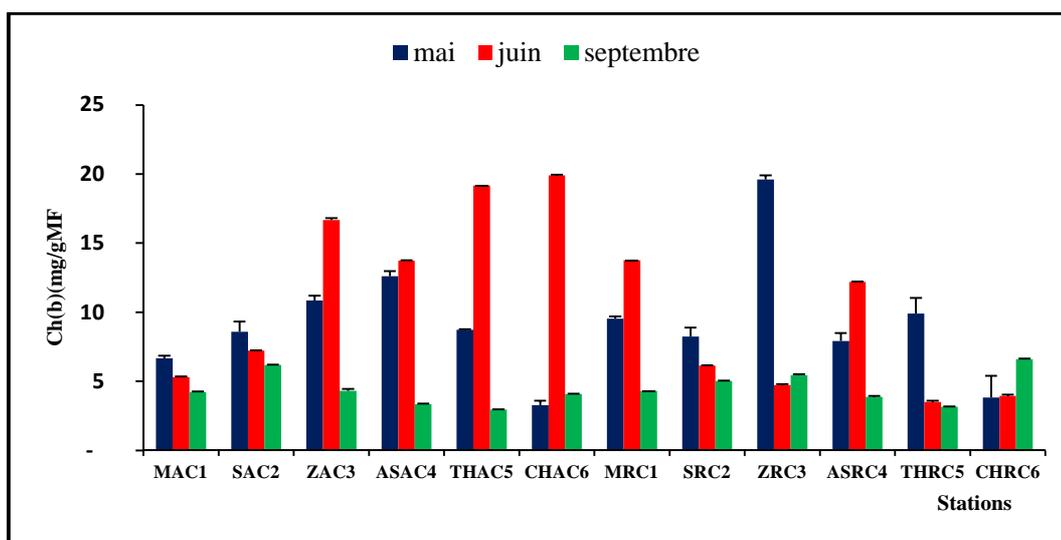


Figure 33 : Variation de la teneur en chlorophylle (b) (mg/g MF) en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoides*

L'analyse de la variance a un facteur (annexe 04) montre qu'il existe une différence très hautement significative ( $Pr < 0,0001$ ) des teneurs en chlorophylle (b) entre les stations (aller et retour) pour chaque mois de prélèvement. Ces résultats trouvent leur confirmation dans le test de Newman et Keuls au seuil de 5%. Ce test a fait ressortir cinq groupes homogènes pour le mois de mai (coté aller), dont nous enregistrons les valeurs les plus élevées en stations de ASAC4, ZAC3, THAC5 et SAC2 qui ont été affectés aux groupes (A), (B) et

(C) respectivement. La station de MAC1 est affectée au groupe (D) et la station de CHA6 est affectée au groupe (E).

Sur le coté retour, l'analyse de la variance est très hautement significatif ( $Pr < 0,000$ ) pour ce mois. Ceci est confirmé par le test de Newman et Keuls à 5% dont il a fait ressortir trois groupes homogènes. Le groupe (A) représenté ZARC4, le groupe (B) est représenté par les stations de THRC5, MRC1, SRC2, et ASRC4. Le groupe (C) représenté par la station de CHAC6 qui porte les valeurs les plus faibles pour ce paramètre.

Pour le mois de juin et septembre, le test de Newman et Keuls à 5% a confirmé les résultats de l'analyse de la variance ( $Pr < 0,0001$ ) dont nous avons enregistré six groupes homogènes pour chaque mois. Les stations de CHAC6, THAC5, ZAC3, ASAC4, SAC2, et MAC1 sont affectées respectivement aux groupes (A), (B), (C), (D), (E) et (F). En mois de septembre, les stations de SAC2, ZAC3, MAC1, CHAC1, ASAC4, et THAC5 sont affecté respectivement aux groupes (A), (B), (BC), (D), (E) et (F).

Sur le coté retour pour le mois de juin et septembre le test de Newman et Keuls à 5% à révéler six groupes pour chaque mois. Les stations de MRC1, ASRC4, SRC2, ZRC3, CHRC6 et THRC6 sont affectées respectivement au groupes (A), (B), (C), (D), (E) et (F) en mois de juin, et en mois de septembre les stations de CHRC6, ZRC3, SRC2, MRC1, ASRC4 et THRC5 sont affectées respectivement aux groupes (A), (B), (C), (D), (E) et (F), (annexe 4).

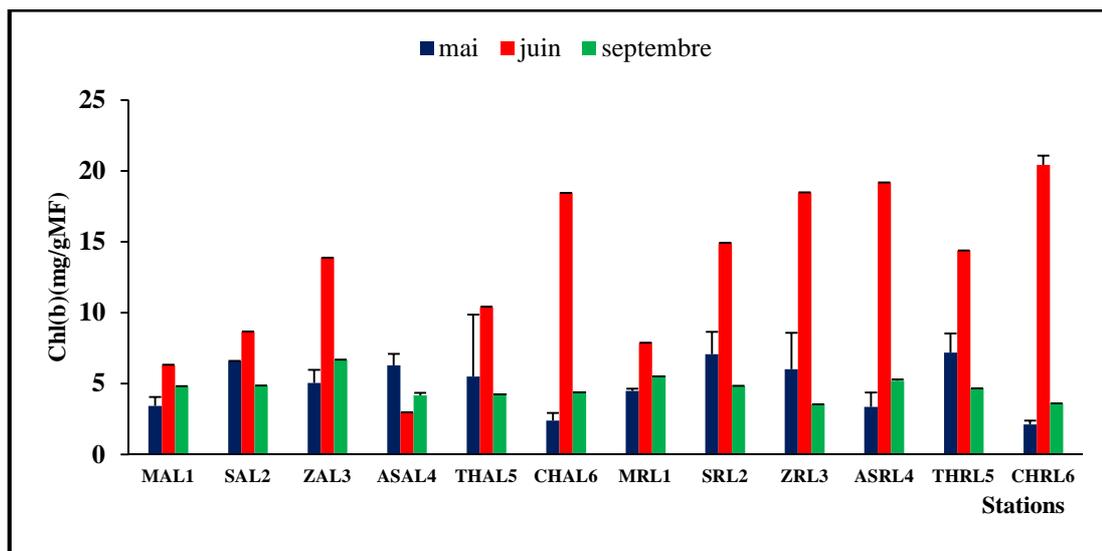
- *Nerium oleander*

Pour ce paramètre, on a enregistré des teneurs de chlorophylle (b) qui varient dans le temps et dans l'espace. Les valeurs maximales sont enregistrées en mois de juin de ( $18.46 \pm 0.02 \text{mg/gMF}$ ) et ( $20.43 \pm 0.65 \text{mg/g MF}$ ) respectivement à CHAL6 et CHRL6 ainsi que ZAL3 qui marque une valeur de ( $18.46 \pm 0.03 \text{mg/g MF}$ ), (fig. 34).

Sur les cotés aller et retour, l'analyse de la variance pour ce paramètre montre que la différence entre les stations est non significatif en mois de mai ( $Pr = 0,447$  et  $Pr = 0.096$ ) (annexe 04). En mois de juin et septembre par contre, l'analyse de la variance est très hautement significatif avec ( $Pr < 0,0001$ ). Pour le mois de juin, le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir (coté aller) six groupes homogènes. Le premier groupe dominant (A) pour lequel la station de CHAL6 est affectée, il représente les valeurs les plus élevées. Le groupe (B) est représenté par ZAL3, le groupe (C) représenté par SAL2, le groupe (D) représenté par THAL5, le groupe (E) est représenté par la station de MAL1, et enfin un dernier groupe (F) représenté par la station de ASAL4. En mois de septembre (coté aller), ce même test a confirmées le résultat de l'analyse de la variance dont il a fait ressortir trois

groupes homogènes, le groupe dominant (A) représenté par ZAL3, le groupe (B) représenté par SAL2 et MAL1. Le dernier groupe (C) représenté par CHAL6, THAL5 et ASAL4.

Pour le retour, en mois de juin et septembre, l'analyse de la variance nous est très hautement significatif ( $Pr < 0,0001$ ). Effectivement le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir quatre groupes homogènes. Pour le mois de juin, le groupe (A) dominant représenté par CHRL6, le groupe (B) est représenté par ASRL4 et ZRL3, le groupe (C) représenté par SRL2 et THRL5 et enfin le groupe (D) est représenté par MRL1.



**Figure 34 :** Variation de la teneur en chlorophylle (b) (mg/g MF) en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

Ce test a fait apparaître pour le mois de septembre cinq groupes dont le groupe dominant (A) représenté par MRL1, le groupe (B) représenté par ASRL4, le groupe (C) représenté par SRL2 et le groupe (D) représenté par THRL5. Les valeurs les plus faibles pour ce paramètre sont représentées par les stations de CHRC5 et ZRC3 dont ils sont affectés au groupe (E).

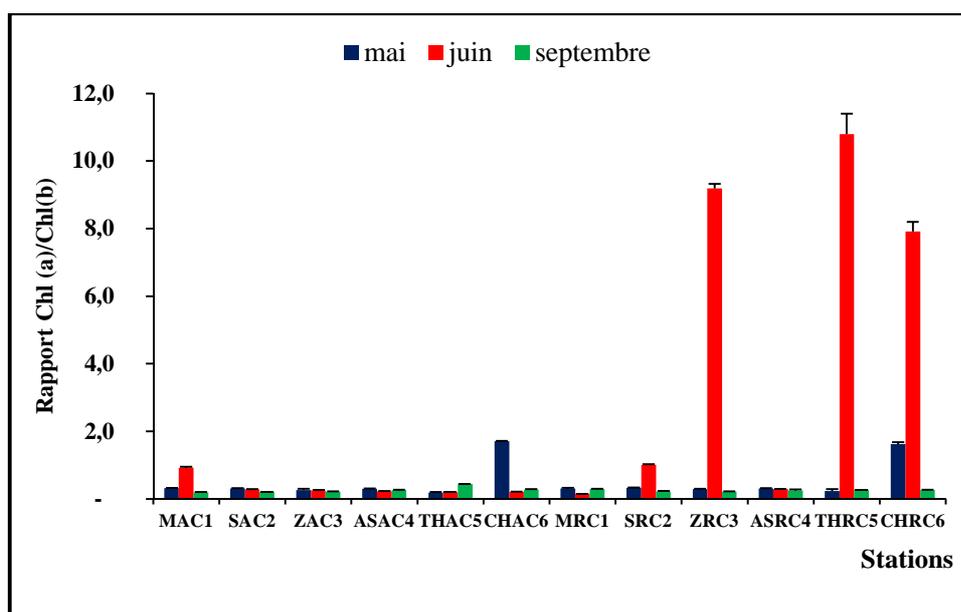
#### 7.1.4. Le rapport Chl (a)/Chl (b)

- *Acacia retinoides*

Le rapport chl(a)/chl (b) varie d'une station à l'autre en mois de mai. Comme le montre la figure (35). La valeur la plus élevée est enregistré à CHAC6 et CHRC6 respectivement de  $(1.71 \pm 0.02 \text{ mg/g MF})$  et  $(1.62 \pm 0.05)$ . En mois de juin ce rapport prend la valeur la plus élevée à ZRC3, THRC5 et CHRC6 respectivement de  $(9.19 \pm 0.13)$ ,  $(10.79 \pm 0.6)$  et  $(7.91 \pm 0.28)$ , alors que pour les autres stations ce rapport reste faible.

En mois de septembre nous avons enregistré une diminution du rapport chl(a)/chl(b) mais il reste plus ou moins stable dont la valeur maximale est de  $(0.43 \pm 0.002)$  et la minimale est de  $(0.20 \pm 0.0008)$  respectivement en station de THAC5 et SAC2.

L'analyse de la variance pour un facteur est très hautement significatif ( $Pr < 0,0001$ ) en mois de mai (coté aller). Ceci est confirmé par le test de Newman et Keuls au seuil de 5% qui a fait ressortir quatre groupes homogènes. Le groupe (A) représenté par CHAL6, le groupe (B) représenté par MAC1, SAC2, et ASC4, le groupe (C) représenté par ZAC3 et le groupe (D) représenté par la station de THAC5 qui comporte les valeurs les plus faibles, (annexe 4).



**Figure 35:** Variation du rapport de la Chl (a)/Chl (b) en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoïdes*

Pour le mois de juin, le test à déceler cinq groupes homogènes qui sont : le groupe dominant (A) représenté par MAC1, le groupe (B) représenté par SAC2, le groupe (C) est représenté par la station de ZAC. Le groupe (D) est représenté par la station d'ASC4, le dernier groupe (E) représenté par CHAC6 et THAC5 où le rapport est plus faible. En mois de septembre, le test de Newman et Keuls à révéler trois groupes homogènes. La station THRC5 est affectée au groupe (A), les stations de CHAC6 et ASAC4 sont affectés au groupe (B). Les stations ZAC3, SAC2 et MAC1 sont affecté au groupe (C).

Sur le coté retour en mois de mai et juin, le test de l'analyse de la variance (annexe 04) nous montre une différence très hautement significative entre les stations pour ce rapport ( $Pr < 0,0001$ ). Effectivement Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir deux groupes homogènes en mois de mai. La station CHRC6 est affectée au groupe dominant (A)

et les stations de SRC2, MRC1, ASRC4, ZRC3 et THRC5 sont affectés au groupe (B) où ce rapport est réduit. Alors qu'en mois de juin, le test de Newman et Keuls au seuil de 5% à fait ressortir quatre groupes homogènes.

Le groupe (A) représente la station de THRC5, le groupe (B) représente la station de ZRC3, le groupe (C) représente la station de CHRC6 et le groupe (D) représente les stations de SRC2, ASRC4 et MRC1.

L'analyse de la variance pour le mois de septembre à révéler une différence significative ( $P=0.014$ ). Cinq groupes ont été révélés par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5% dont trois groupes sont hétérogènes entre le groupe (A), (B) et (C). Effectivement, la station de MRC1 est affectée au groupe dominant (A), les deux stations de THRC5 et CHRC6 sont affectés au groupe (AB), la station d'ASRC4 est affectée au groupe (ABC), la station SRC2 est affectée au groupe (BC) et enfin la station de ZRC3 est affectée au groupe (C).

- *Nerium oleander*

En mois de mai la valeur maximale du rapport Chl (a)/Chl(b) est de 1.73 au niveau de CHRL6, (fig. 36). La valeur minimale est enregistrée à THRL5 de 0.13. Pour les deux mois juin et septembre ce rapport est plus ou moins faible dont la valeur maximale ne dépasse pas 0.32 et 0.40 en mai et septembre respectivement.

Ces résultats trouvent leur confirmation dans le test de l'analyse de la variance (annexe 04) qui montre l'existence d'une différence très hautement significative ( $Pr<0.0001$ ) en mois de mai sur le coté aller de l'autoroute Est Ouest.

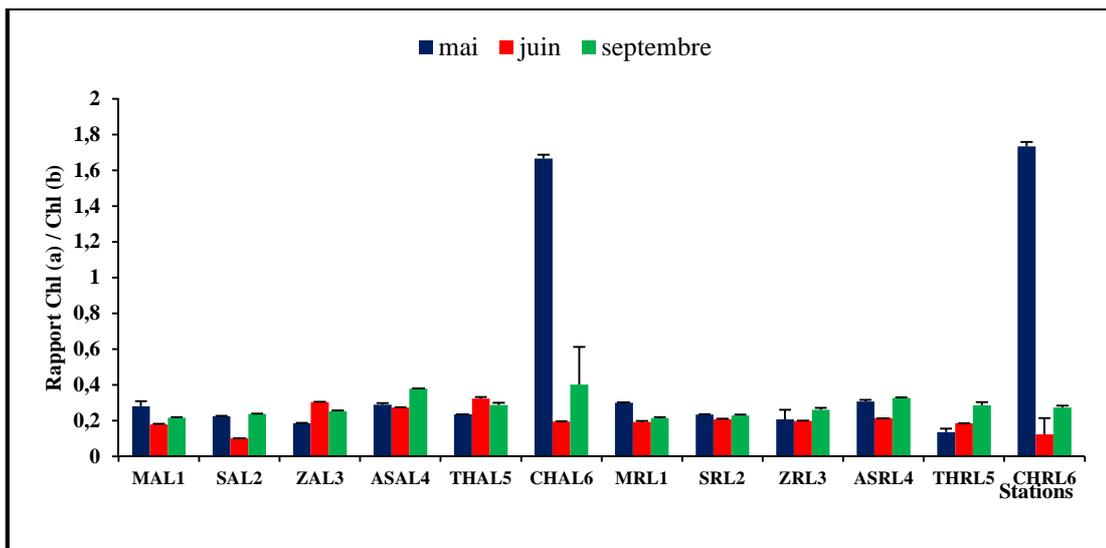


Figure 36 : Variation du rapport Chl(a)/Chl(b) en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% à fait ressortir cinq groupes homogènes, le groupe dominant (A) présente la station de CHAL6, le deuxième groupe (B) présente la station de ASAL4, le troisième groupe (BC) qui est un groupe intermédiaire portant des caractéristiques commune entre le groupe (B) et (C) dont la station MAL1 est affectée, les stations de THAL5 et SAL2 sont affectées au quatrième groupe (C) et enfin le cinquième groupe (D) présente ZAL3. Sur le coté retour de ce mois, le test de l'analyse de la variance à révéler une différence très hautement significative ( $Pr < 0.0001$ ) entre les stations et le paramètre étudié. Trois groupes homogènes ont été obtenus par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5%, le groupe dominant (A) présente la station de CHRL6, le groupe (B) présente les stations de ASRL4, MRL1, SRL2 et ZRL3. La station de THRL5 est affectée au dernier groupe (C), (annexe 4).

En mois de juin, l'analyse de la variance à un critère de classification (annexe 05) montre qu'il existe une différence très hautement significative ( $Pr < 0.0001$ ) et le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir six groupes homogène (A), (B), (C), (D), (E) et (F) qui présentent respectivement THAL5, ZAL3, ASAL4, CHAL6, MAL1 et SAL2. Sur le coté retour, l'analyse de la variance est non significative ( $Pr = 0.384$ ).

En mois de septembre (coté aller), ce test révèle une différence non significative entre les stations pour ce paramètre ( $p = 0.432$ ). Alors que sur le coté retour de l'autoroute Est-Ouest, le test de l'analyse de la variance à donner une différence très significative ( $Pr = 0.002$ ), ceci est confirmé par le test de Newman et Keuls au seuil de 5% qui a révéler trois groupes homogène. Le premier groupe dominant (A) avec les valeurs les plus élevés présente la station d'ASRL4, le deuxième groupe (B) présente les stations de THRL5, CHRL6 et ZRL3. Le troisième groupe (C) présente SRL2 et MRL1.

► Selon Ernez et Lannoye (1991), l'altération de l'état physiologique des plantes, causée par des conditions défavorables de l'environnement, se reflète rapidement au niveau des signaux lumineux et thermiques émis par les feuilles (**Benterrouche., 2006**). **Dallaa (2012)** à étudier le rôle de la chlorophylle comme bio-indicateur de pollution atmosphérique (particulaire) dans la région de Constantine et plus particulièrement au alentour de la cimenterie d'El Hamma Bouziane. En effet les espèces de conifère (*Pinus halepensis*, *Cupressus macrocarpa*) représentait des symptômes de chlorose et nécrose due à l'accumulation de la poussière au niveau des feuilles ce qui a provoquer une diminution de l'activité photosynthétique impliquant la diminution de la chlorophylle. Donc ces espèces sont classées comme sensible aux contraintes environnementales.

La teneur en chlorophylle est le critère le plus utilisé pour quantifier l'état général de la plante, c'est un excellent bio-indicateur de pollution et de stress (Tripathi et Tripathi., 1999).

#### 7.1.5. La proline

- *Acacia retinoïdes*

Les résultats de la teneur en proline chez *Acacia retinoïdes* illustrés par la figure (37), nous montrent qu'elle varie dans le temps et dans l'espace. En mois de mai et juin, les valeurs les plus élevées sont enregistrées à SAC2 et THRC5 respectivement de ( $59.27 \pm 1.70$  mg/g MF) et ( $47.73 \pm 1.89$  mg/g MF). La plus faible teneur en proline est enregistrée à ASAC4 de ( $3.57 \pm 0.33$  mg/g MF). Cette teneur reste élevée en mois de septembre, dont nous avons enregistré ( $54.47 \pm 1.04$  mg/g MF) et ( $61.47 \pm 0.19$  mg/g MF) en CHAC6 et THRC5. La station d'ASAC4 et ZRC3 ont enregistré les teneurs les plus élevées en proline qui est de ( $62.03 \pm 0.05$  mg/g MF) et ( $61.22 \pm 0.14$  mg/g MF) respectivement en mois de septembre. La teneur minimale en proline est de ( $4.13 \pm 1.13$  mg/g MF) enregistré en mois de juin au niveau de la station d'ASAC4.

En mois de mai (coté aller), l'analyse de la variance (Annexe 5) permet de mettre en évidence un effet très hautement significatif des stations sur l'accumulation de la proline ( $P < 0,000$ ). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir cinq groupes homogènes, le premier groupe dominant (A) représenté par la station de SAC2, le deuxième groupe (AB) qui est un groupe intermédiaire entre le groupe (A) et (B) présentant les stations de CHAC6 et MAC1, le groupe (B) représenté par la station de ZAC, le troisième groupe (C) présente la station de THAC5. Le dernier groupe (D) présente la station d'ASAC4 avec les teneurs en proline les plus faibles. Sur le coté retour, l'analyse de la variance pour un facteur est très hautement significatif ( $Pr < 0,0001$ ). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% à confirmer ces résultats en faisant ressortir quatre groupes homogènes. La station de SRC2 est affecté au groupe dominant (A), la station de THRC5 est affecté au groupe (B), les stations de MRC1 et ASRC1 sont affectées au groupe (C) et enfin les stations de ZRC3 et CHRC6 sont affectées au dernier groupe (D).

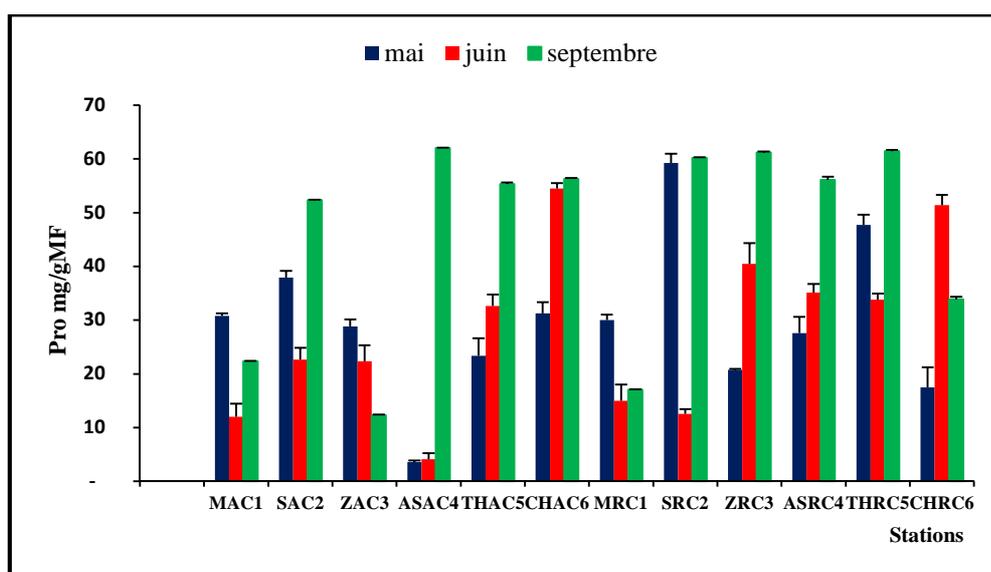
En mois de juin et septembre (coté aller), l'analyse de la variance à donner une différence très hautement significatif ( $Pr < 0,0001$ ). Effectivement le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir quatre groupes homogènes pour le mois de juin. Le groupe dominant (A) représente la station de CHAC6 dont les teneurs en proline sont les plus élevés.

Le groupe (B) représente la station de THAC5, le groupe (C) représente les stations de SAC2 et ZAC3, le dernier groupe (D) représente les stations de MAC1 et ASAC4.

Alors qu'en mois de septembre ce test à révéler six groupes homogènes (A), (B), (C), (D), (E) et (F) dont les stations de ASAC2, CHAC6, THAC5, SAC2, ZAC3 et MAC1 sont affectés respectivement.

Sur le coté retour, en mois de juin, le test de l'analyse de la variance à donner des différences très hautement significatif ( $Pr < 0,0001$ ) entres les stations et la teneur en proline. Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% à révéler trois groupes homogènes. Le groupe dominant (A) représente la station de CHRC6, le groupe (B) représente les stations de ZRC3, ASRC4 et THRC5, et le dernier groupe (C) représente les stations de MRC1 et SRC2 où les valeurs en proline sont les plus faibles. En mois de septembre sur ce coté, le test de l'analyse de la variance est aussi très hautement significatif ( $Pr < 0,0001$ ) et le test de Newman et Keuls au seuil de 5% à confirmer ces résultats en donnant cinq groupe homogènes.

Le groupe dominant (A) représente la station de THRC5 et ZRC3. Les groups (B), (C), (D) et (E) représentent respectivement les stations de SRC2, ASRC4, CHRC6 et MRC1.



**Figure 37** : Variation de proline (mg/gMF) en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoïdes*

- *Nerium oleander*

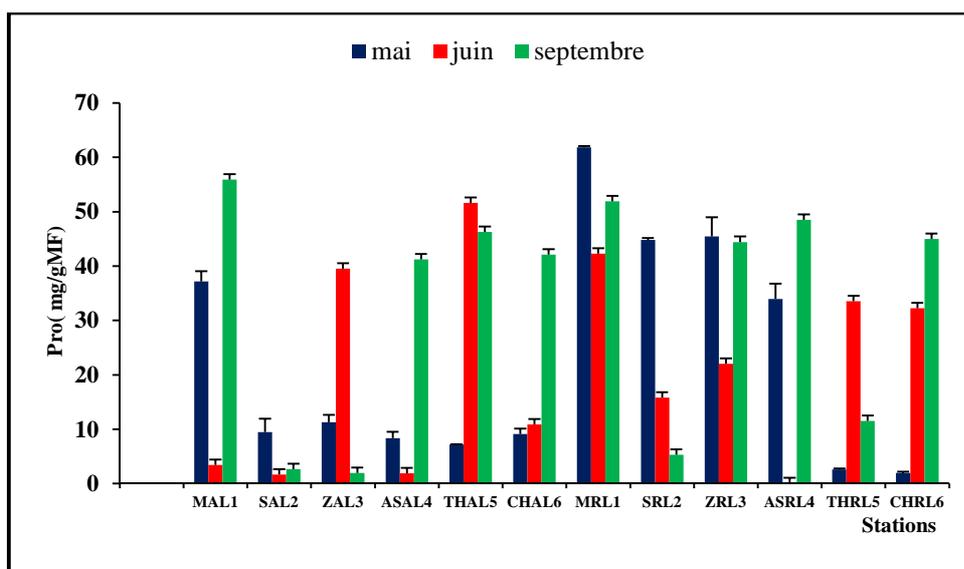
Les variations spatiales des teneurs moyennes en proline de *Nerium oleander* des 12 points de prélèvements (Aller et retour) sont représentées sous forme d'histogramme, ces teneurs varient dans le temps et dans l'espace, (Fig. 38).

On remarque que la teneur la plus élevée (maximale) en mois de mai est enregistrée à MRL1 et la plus faible (minimale) en CHRL6 respectivement de ( $61.83 \pm 0.23$  mg/g MF) et

( $1.98 \pm 0.21$  mg/gMF). En mois de juin les teneurs en proline chez cette espèce se diffèrent d'une station de prélèvement à l'autre. La valeur maximale est en THAL5 de ( $51.63 \pm 1.26$  mg/g MF) et la valeur minimale est à ASRL4 de ( $0.071 \pm 0.007$  mg/g MF). Le mois de septembre ne se diffèrent pas des mois précédemment interprété où on enregistre la valeur maximale en proline à MAL1 de ( $55.9 \pm 0.24$  mg/gMF), la valeur minimale est enregistré à ZAL3 de ( $1.96 \pm 0.61$  mg/gMF).

L'analyse de la variance pour un critère de classification à révéler une différence très hautement significatif ( $Pr < 0,0001$ ) pour les trois mois de prélèvement. Ces résultats sont confirmés par le test de Newman et Keuls pour un seuil de 5 %. En mois de mai (coté aller), la comparaison des teneurs moyennes en proline au niveau des stations par le test de Newman-Keuls pour un seuil de 5 % a révélé deux groupes homogènes (Annexe 5).

La station de MAL1 se distingue dans le premier groupe (A) avec les teneurs moyennes en proline les plus élevés, suivie par le groupe (B) présenté par les stations de ZAL3, SAL2, CHAL6, ASAL4 et THAL5 dont les teneurs sont les plus faible.



**Figure 38:** Variation de proline (mg/g MF) en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

En mois de juin et septembre (coté aller), le test de Newman et Keuls pour un seuil de 5 % a fait ressortir quatre groupes homogènes. Effectivement, pour le moi de juin le groupe dominant (A) est représenté par THAL5, le groupe (B) représenté par ZAL3 et le groupe (C) représenté par CHAL6. Les stations de MAL1, ASAL4 et SAL2 sont affecté au groupe (D) avec les valeurs les plus faibles de teneurs en proline. Pour le mois de septembre, les groupes (A) et (B) représentés respectivement par MAL1 et THAL5. Le groupe (C) représenté par

CHAL5 et ASAL4, le groupe (D) est représenté par les stations de SAL2 et ZAL3 avec les valeurs les plus faibles.

Pour le côté retour de l'autoroute Est Ouest, les teneurs en proline ont une tendance générale à être plus allongée vers les valeurs élevées. En effet ces teneurs varient dans le temps (trois mois de prélèvement) et dans l'espace (stations). Cette variabilité dans le temps et dans l'espace est confirmée par l'analyse de la variance qui a révélé un effet station très hautement significatif ( $P < 0,0001$ ). Le test de Newman et Keuls pour un seuil de 5 % a fait ressortir trois, quatre et cinq groupes homogènes pour chaque mois correspondant (Annexe 05). La station de MRL1 se distingue ainsi dans les groupes dominants des trois campagnes de prélèvement avec les teneurs les plus élevées.

En effet, en mois de mai ce test a fait ressortir quatre groupes (A), (B), (C) et (D). La station MRL1 est affecté au groupe (A), les stations ZRL3 et SRL2 sont affectés au groupe (B), la station de ASRL4 est affecté au groupe (C), enfin les deux stations THRL5 et CHRL6 avec les teneurs en proline les plus faibles sont affectés au groupe (D).

En mois de juin, le test de Newman et Keuls pour un seuil de 5 % nous a donné cinq groupes homogènes. Le groupe (A) dominant est représenté par MRL1, le groupe (B) représenté par THRL5 et CHRL5, le groupe (C) représenté par ZRL3 et le groupe (D) qui est représenté par la station SRL3. La station d'ASRL4 est affectée au groupe (E) qui présente une accumulation la plus faible en proline par rapport aux autres stations d'où on a enregistré une valeur de 0.072 mg/g MF. En mois de septembre, ce même test à fait ressortir trois groupes homogène, mais cette fois ci le groupe dominant (A) est représenté par quatre stations qui correspondent aux valeurs les plus élevée en proline qui sont : MRL1, ASRL4, CHRL6 et ZRL3. Le groupe (B) est représenté par THRL5 et enfin le groupe (C) représenté par SRL2.

► L'élévation de la teneur en proline au niveau des stations de prélèvements durant les trois campagnes d'échantillonnage est due à une contrainte environnementale. Effectivement, cet acide aminé est synthétisée lorsque le végétale est en stress en appliquant par conséquence une perturbation de son métabolisme, et notamment le métabolisme des acides aminés libres dont la proline constitue un marqueur de résistance des plantes aux contraintes abiotiques (Delauney et Verma., 1993 cité par Dallaa., 2012 et Bouchoukh., 2010).

Notre étude nous a permis de constater que les deux espèces, comme l'analyse de la variance vient de le montrer (différence très hautement significatif), représentent une variation avec une augmentation de la teneur de ce paramètre, ceci est dû probablement à une réponse d'une contrainte environnementale.

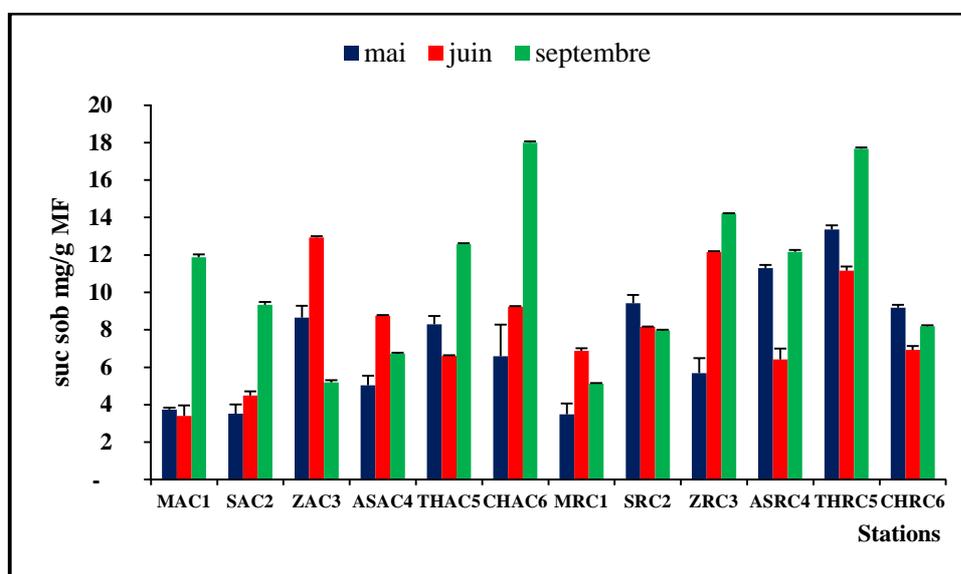
L'accumulation de la proline est due à une protéolyse membranaire, elle est accumulée suite à une perturbation du métabolisme des protéines. Elle serait due aussi à une induction ou activation de l'enzyme impliquée dans la biosynthèse de la proline et à un abaissement de son oxydation en glutamate. Le mécanisme de l'accumulation de la proline permet aussi de penser à la présence de site de résistance de la plante à une contrainte (Claussen., 2005 cité par Abdessemed., 2009).

#### 7.1.6. Sucres solubles

- *Acacia retinoïdes*

Les teneurs en sucres solubles chez *Acacia retinoïdes* représentés dans la figure (39) varient selon les stations et les mois de prélèvements. La valeur la plus élevée est affichée en mois de septembre à CHAC6 de l'ordre de ( $18 \pm 0.067$  mg/g MF) alors qu'en mois de mai et juin les valeurs maximales sont de ( $13.37 \pm 0.22$  mg/g MF) et ( $12.92 \pm 0.08$  mg/g MF) à THRC5 et ZAC3 respectivement. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées à SAC2 et MAC1 respectivement de ( $3.49 \pm 0.58$  mg/g MF) et ( $3.39 \pm 0.52$  mg/g MF) en mois de mai et juin.

En mois de mai (coté aller), l'analyse de la variance (annexe 6) a mis en évidence un effet très hautement significatif des stations sur l'accumulation des sucres solubles foliaires ( $P < 0,0001$ ). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir deux groupes homogènes. Le premier groupe dominant (A) représenté par les stations de ZAC2, THAC5 et CHAC6, le deuxième groupe (B) présente ASAC4, MAC1 et SAC2.



**Figure 39:** Variation des sucres solubles (mg/g MF) en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoïdes*

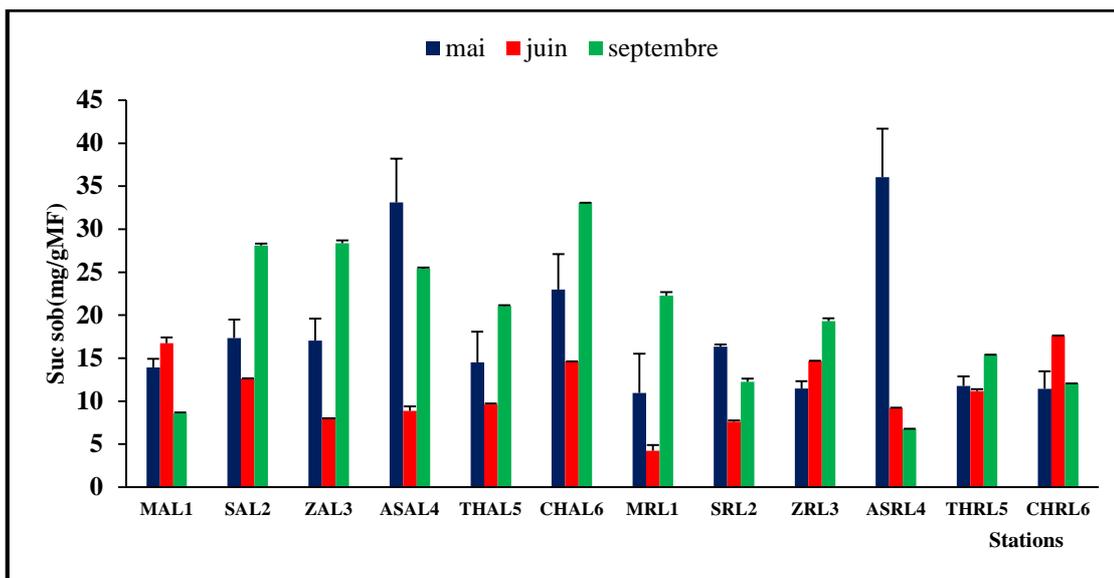
Sur le coté retour, l'analyse de la variance pour un facteur est très hautement significatif ( $Pr < 0,0001$ ). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a confirmé ces résultats en faisant ressortir cinq groupes homogènes. La station de THRC5 est affecté au groupe dominant (A), la station de ASRC4 est affecté au groupe (B), les stations de SRC2 et CHRC6 sont affectées au groupe (C), la station de ZRC3 est affecté au groupe (D), enfin la station de CHRC6 est affecté au dernier groupe (E).

En mois de juin et septembre (coté aller), l'analyse de la variance à donner une différence très hautement significatif ( $Pr < 0,0001$ ). Effectivement le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir six groupes homogènes pour le mois de juin. Le groupe dominant (A) représente la station de ZAC3 dont les teneurs en sucres solubles sont les plus élevés. Le groupe (B) représente la station de CHAC6, le groupe (C) représente la station de ASAC2, le groupe (D) présente THAC5, le groupe (E) présente SAC4 et le dernier groupe (F) présenté la station de MAC1. Pour le mois de septembre ce test à révéler aussi six groupes homogènes (A), (B), (C), (D), (E) et (F) dont les stations CHAC6, THAC5, MAC1, SAC2, ASAC2 et ZAC3 sont affectés respectivement.

Sur le coté retour, en mois de juin, le test de l'analyse de la variance à donner des différences très hautement significatif ( $Pr < 0,0001$ ). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir quatre groupes homogènes. Le groupe dominant (A) présente ZRC3, le groupe (B) présente THRC5, le groupe (C) présente SRC2. Les stations CHRC6, MRC1 et ASRC4 sont affectés au dernier groupe (D) avec des teneurs en sucres solubles les plus faibles. En mois de septembre, le test de l'analyse de la variance a donner aussi une différence très hautement significatif ( $Pr < 0,0001$ ), ceci est confirmé par le test de Newman et Keuls au seuil de 5% qui a révéler six groupes homogènes (A), (B), (C), (D), (E) et (F) dont les stations THAC5, ZAC3, ASAC2, CHAC6, SAC2 et MAC1 sont affectés respectivement.

#### ● *Nerium oleander*

La teneur en sucre solubles pour *Nerium oleander* marque des variations visibles dans le temps et dans l'espace. En effet on a enregistré les teneurs maximales en mois de mai et septembre de ( $36.06 \pm 5.62$  mg/g MF) et ( $33.05 \pm 0.02$  mg/g MF) respectivement en stations d'ASRL4 et CHAL6, la teneur minimale est enregistrée en mois de juin d'une valeur de ( $4.21 \pm 0.66$  mg/g MF) au niveau de la station de MRL1, (Fig. 40).



**Figure 40:** Variation des sucres solubles (mg/g MF) en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

L'analyse de la variance pour le mois de mai (coté aller) à révéler une différence significative entre les stations pour ce paramètre ( $Pr=0.024$ ). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a confirmé cette différence par l'apparition de deux groupes homogènes. Le groupe dominant (A) représenté par ASAL4 et le groupe (B) représenté par CHAL6, SAL2, ZAL3, MAL1 et THAL5 avec les valeurs les plus faibles. Sur le coté retour, l'analyse de la variance pour un facteur de comparaison a révéler une différence hautement significatif ( $Pr=0,002$ ) et le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a donné aussi deux groupes homogènes, le groupe (A) présente ASRL4, et le groupe (B) présente les stations de SRL2, MRL1, THRL5, ZRL3 et CHRL6, (annexe 6).

En mois de juin, le test de l'analyse de la variance à révéler une différence très hautement significative ( $Pr<0,0001$ ). Six groupes homogènes ont été révélés par le test de Newman et Keuls au seuil de 5% pour chaque coté. Effectivement, sur le coté aller, Le groupe (A) présente MAL1, le groupe (B) présente CHAL6, et le groupe (C) présente SAL2. Le groupe (D) présente la station de THAL5, le groupe (E) présente ASAL2 et le dernier groupe (F) présente ZRL3 avec une accumulation en sucres solubles la plus faible (annexe 06). Sur le coté retour, les six groupes homogènes sont (A), (B), (C), (D), (E) et (F) représentant respectivement les stations CHRL6, ZRL3, THRL5, ASRL4, SRL2 ainsi que MRL1. En mois de septembre (coté aller), cinq groupes homogènes qui ont été ressortie par le test de Newman et Keuls au seuil de 5%. Le premier groupe dominant (A) avec les teneurs les plus élevés en ce paramètre, présente CHAL6.

Le deuxième groupe (B) présente ZAL3 et SAL2, le troisième groupe (C) présente ASAL4, le quatrième groupe (D) présente THAL5 et enfin le dernier groupe (E) présente MAL1. Le coté opposé (retour) de l'autoroute, l'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ( $P < 0,0001$ ). Les résultats obtenus sont confirmés par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5%, il a révélé cinq groupes homogènes. Le groupe dominant (A) est représenté par MRL1. Le groupe (B) est représenté par ZRL3, le groupe (C) est représenté par THRL5. Le groupe (D) est représenté par les stations de SRL2 et CHRL6. Enfin le groupe (E) représente la station d'ASRL4 avec les valeurs les plus faibles en sucres solubles.

► Les sucres peuvent protéger les membranes et les protéines contre la déshydratation en incitant la formation d'une sorte de verre aux températures physiologiques (**David et al., 1998**). Le saccharose peut agir en tant que composé soluble compatible et son accumulation peut permettre d'éviter la cristallisation des molécules contenues dans la cellule. Elle limite donc les dommages au niveau des structures cellulaires (**Dubos, 2001**). Ce type de tolérance permet à la plante d'assurer normalement ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique interne.

Les nombreux cas où sont décelées des accumulations de sucres ou de leurs dérivés alcools (mannitol, sorbitol...) s'accompagnent aussi de l'augmentation d'un des composés aminés (proline ou glycine-bétaïne) (**Levigneron., 1995**).

Les teneurs en sucres solubles chez *Acacia retinoïdes* et *Nerium oleander* varient fortement. Ces deux espèces se comportent approximativement de la même manière en affichant des résultats élevés et rapprochés durant les trois campagnes de prélèvement à travers les trois stades de développements (floraison, fructification et maturation) sur les six stations d'échantillonnage (coté aller et retour). Donc, ces deux espèces semblent accumuler ces sucres comme métabolite de résistance au stress. Si c'était le contraire (très faibles teneurs), ce métabolite a pu servir, en se dégradant, de source disponible et rapide de carbone ou d'équivalents réducteurs au cours du stress (**Benterrouche., 2006**).

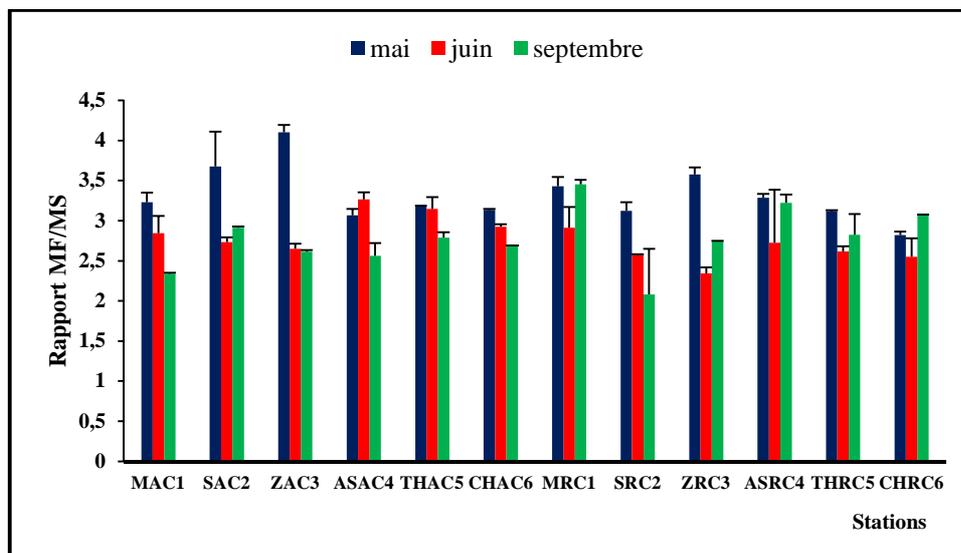
## 7.2. Paramètres Morphologiques

### 7.2.1. Rapport MF/MS

- *Acacia retinoïdes*

La figure 41 nous montre que ce rapport est plus ou moins élevé au niveau de toutes les stations de prélèvement sur les trois mois (mai, juin et septembre). En effet, la valeur la plus élevée est enregistrée en mois de mai, au niveau de la station de ZAC2 avec  $(4.10 \pm 0.09)$ .

Le rapport MF/MS le plus faible est en mois de septembre où on enregistre une valeur de  $(2.07 \pm 0.57)$  à SRC2.



**Figure 41:** Variation du rapport MF/MS en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoïdes*

L'analyse de la variance montre qu'il existe une différence hautement significative ( $P= 0.020$ ) entre les stations, (annexe 07). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5%, va dans le même sens des résultats qu'on a présenté, où on relève le dégagement de trois groupe en mois de mai (coté aller), les valeurs du rapport les plus élevées sont enregistrées en station de ZAC3, cette dernière est affectée au groupe dominant (A). Le groupe intermédiaire (AB) présente les stations de SAC2 et MAC1, et le groupe (B) présente les stations de THAC5, CHAC6 et ASAC4 dont les valeurs de ce rapport sont les plus faibles. Sur le coté retour, le test de la variance pour un facteur de classification à donner une différence hautement significative ( $Pr= 0.001$ ) entre les stations et le paramètre d'étude (MF/MS), le test de Newman et Keuls au seuil de 5%, est venu pour confirmer ces résultats en révélant trois groupe homogènes. Le premier groupe homogène (A) présente ZRC3 et MRC1, le deuxième groupe (B) présente ASRC4, SRC2 et THRC5 et le dernier groupe (C) présente CHRC6.

En mois de juin (coté aller), le test de la variance pour le même critère de classification à révéler une différence hautement significative ( $Pr= 0.005$ ). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir quatre groupes. Le groupe (A) et (AB) sont représentés par les stations d'ASAC4 et THAC5 respectivement où on marque les rapports les plus élevée, (annexe 7).

Les groupes (BC) et (B) sont représentés respectivement par les stations qui ont les rapports les plus faibles qui sont respectivement CHAC6, SAC2, MAC1 et ZAC3.

Sur le coté aller, en mois de septembre, le test de la variance pour un facteur de classification entre les stations de prélèvement révèle une différence hautement significative ( $Pr=0.015$ ). Ceci est confirmé par le test de Newman et Keuls au seuil de 5% qui a révélé cinq groupes. Le groupe dominant (A) est représenté par SAC2, le groupe (AB) est représenté par THAC5, le groupe (ABC) représenté par CHAC6, le groupe (BC) est représenté par ZAC3 et ASAC4. En fin le groupe (C) qui correspond aux valeurs les plus faible représenté par MAC1.

Le coté retour de l'autoroute, l'analyse de la variance à montré une différence non significative entre les stations de ( $Pr= 0.578$  et  $Pr=0.052$ ) respectivement en mois de juin et septembre.

● *Nerium oleander*

Le rapport MF/MS varie d'une station à l'autre et d'un mois à l'autre. Effectivement, La valeur maximale est enregistrée en mois de mai et juin de ( $3.37\pm 0.05$ ) et ( $3.33\pm 0.09$ ) respectivement à THAL6 et ASRL4. Le rapport le plus faible est enregistré en mois de septembre avec une valeur de ( $1.68\pm 0.0001$ ), (fig. 42).

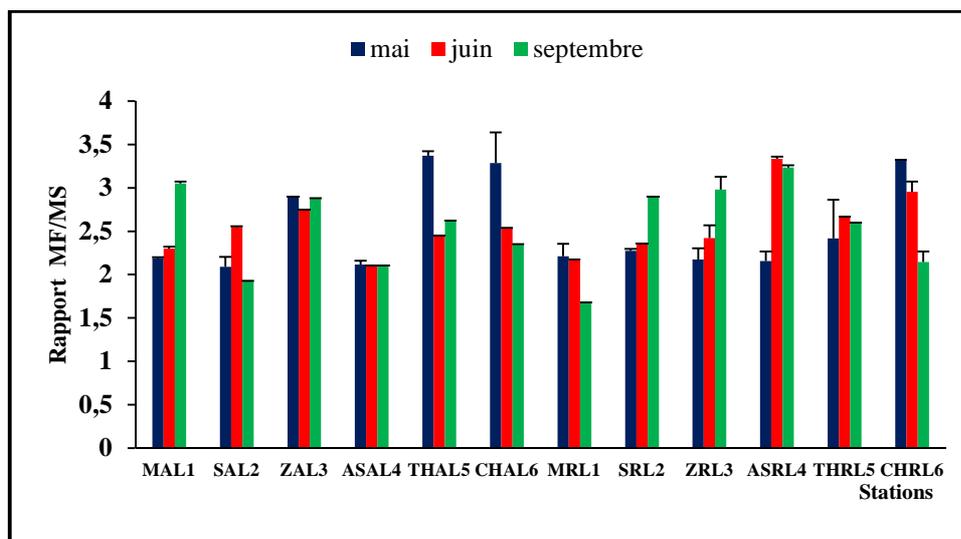
L'analyse de la variance pour un critère de classification a confirmé nos résultats. Nous enregistrons une différence significative ( $P=0.02$ ) en mois de mai (coté aller) entre les stations pour ce paramètre. Par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5% deux groupes homogènes ont été dégagé. Le groupe (A) est en similarité avec le groupe (B) en ce qui concerne le nombre de station affectés. En effet les stations THAL5, CHAL6 et ZAL3 sont affectés au groupe (A), les stations MAL1, ASAL4 et SAL2 sont affectée au groupe (B).

En mois de juin pour le même coté, le test de l'analyse de la variance à révéler une différence hautement significative ( $P=0.012$ ). Trois groupes sont apparus, le groupe (A) et (AB) sont représentés par les valeurs les plus élevée de ce rapport, effectivement nous avons respectivement les stations de ZAL3, SAL2, CHAL6 et THAL5 ainsi que MAL1. Le groupe (B) dont les valeurs sont faibles est représenté par ASAL4.

Alors qu'en mois de septembre l'analyse de la variance à révéler une différence très hautement significative ( $Pr\leq 0.0001$ ) entre les stations pour ce paramètre. Les groupes homogènes (A), (B), (C), (D), (E) et (F) qui ont été dégagés par le test de Newman et Keuls au seuil de 5% sont représentés respectivement par MAL1, ZAL3, THAL5, CHAL6, ASAL4 et SAL4.

En ce qui concerne le coté retour, en mois de mai, l'analyse de la variance montre une différence significative entre les stations ( $Pr=0.018$ ). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% à fait apparaitre deux groupes homogènes; le groupe (A) représenté par CHRL6, le groupe (B) représenté par THRL5, MRL1, SRL2, ZRL3 et ASRL4.

En mois de juin, l'analyse de la variance donne une différence très hautement significative ( $Pr \leq 0.001$ ). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir quatre groupes homogènes d'où on enregistre le groupe (A) qui représente la station d'ASRL4, le groupe (B) représente CHRL6, le groupe (C) représente THRL5 et le groupe (D) dont les valeurs sont les plus faible représenté par ZRL3, SRL2 et MRL1. En mois de septembre, le test de l'analyse de la variance à révéler une différence très hautement significatif en ce qui concerne ce paramètre ( $Pr \leq 0.000$ ). Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait apparaitre cinq groupes homogènes. Le groupe (A) représenté par ASRL4, le groupe (B) représente ZRL3 et SRL2, le groupe (C) représente THRL5, le groupe (D) représente CHRL6 et enfin le groupe (E) où les valeurs sont plus faibles par rapport aux autres groupes dont la station MRL1 est affecté.



**Figure 42:** Variation du rapport MF/MS en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

► Dans notre étude de recherche, le rapport MF/MS est pratiquement élevé aux niveaux des six stations d'échantillonnage (aller et retour). Le rapport MF/MS est un bon indicateur de la qualité de l'air, il constitue un des indicateurs de la santé d'un végétal dans une région donnée. Plusieurs études de recherche sur la pollution atmosphérique ont conduit à la même conclusion.

En effet, lorsque l'air est contaminé, le développement du végétal est perturbé, entraînant des chloroses, des nécroses, jusqu'au détriment de la matière fraîche. Le rapport MF/MS d'une zone polluée est toujours inférieur à celui enregistré dans une zone non polluée (Bel hadj et al. 2011).

### 7.2.2. Surface Foliaire

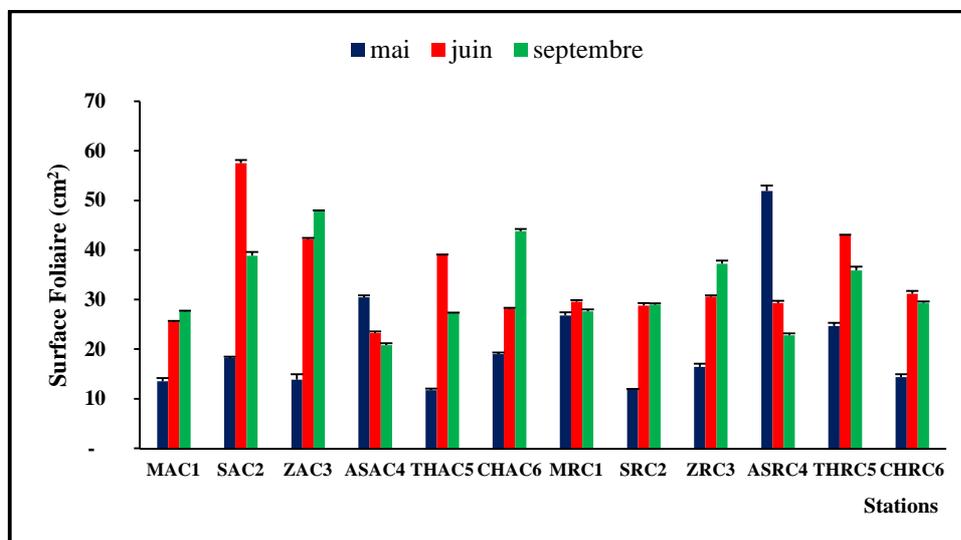
- *Acacia retinoïdes*

Comme l'illustre la figure 43, Sur l'ensemble des points d'échantillonnages (Aller et retour), nous remarquons qu'en mois de mai, la surface moyenne maximale des feuilles est enregistrée au niveau de la station ASRC5 de ( $52 \pm 1.05 \text{ cm}^2$ ) et la valeur minimale est représenté au niveau des deux stations THAC5 et SRC2 de ( $12 \pm 0.32 \text{ cm}^2$ ) et ( $12 \pm 0.04 \text{ cm}^2$ ) respectivement. En mois de juin la surface maximale des feuilles est enregistrée au niveau de la station de SAC2 d'une valeur de ( $58 \pm 0.67 \text{ cm}^2$ ), alors que la surface minimale d'*Acacia retinoïdes* est enregistrée à ASAC4 de ( $23 \pm 0.30 \text{ cm}^2$ ). La moyenne maximale de la surface foliaire en mois de septembre est enregistrée à la station de ZAC3 de ( $48 \pm 0.02 \text{ cm}^2$ ) et la moyenne minimale est obtenue au niveau de la station d'ASAC4 d'une valeur de ( $21 \pm 0.46 \text{ cm}^2$ ).

Les résultats de l'analyse de la variance (annexe 08) montre qu'il existe une différence très hautement significative entre les stations pour ce paramètre ( $P < 0,0001$ ) (Aller et Retour). Effectivement, pour le mois de mai (coté aller), le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir trois groupes. Le groupe dominant (A) est représentés par SAC2 qui est affectée par les valeurs les plus élevés, le groupe (B) représenté par ZAC3 et CHAC6. Le groupe (C) qui est affecté par les stations qui ont les valeurs les plus faibles THAC5, MAC1 et ASAC4 (annexe 08). Alors que sur le coté retour et par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5% on a enregistré six groupes homogènes (A), (B), (C), (D), (E) et (F) dont les stations SRC2, MRC1, ASRC4, THRC5, CHRC6 et ZRC3 sont affectés respectivement.

Pour le mois de juin et septembre (coté aller), l'analyse de la variance à un facteur (annexe 08) montre qu'il existe une différence très hautement significative des moyennes de surface foliaire entre les stations (coté aller) ( $Pr < 0,0001$ ). Ces résultats trouvent leur confirmation dans le test de Newman et Keuls au seuil de 5%, qui a fait ressortir de trois à quatre groupes homogènes. Pour le mois de juin, quatre groupes homogènes ont été enregistrés. Les valeurs de la surface foliaire les plus élevées sont enregistrées en ZAC3 qui est affectée au groupe dominant (A). La station de THAC5 est affecté au groupe (B), les stations de CHAC6, SAC2 et ASAC4 sont affectés au groupe (C), la station de MAC1

représentant la valeur la plus faible de surface foliaire est affectée au groupe (D). Ce même test à révéler trois groupes pour le mois de septembre dont le groupe dominant (A) est représenté par THRC5 avec les valeurs les plus élevés de surface foliaire, le groupe (B) représente ZAC3 et CHAC6, le groupe (C) représente ASC4, MAC1 et SRC2 (Annexes 08).

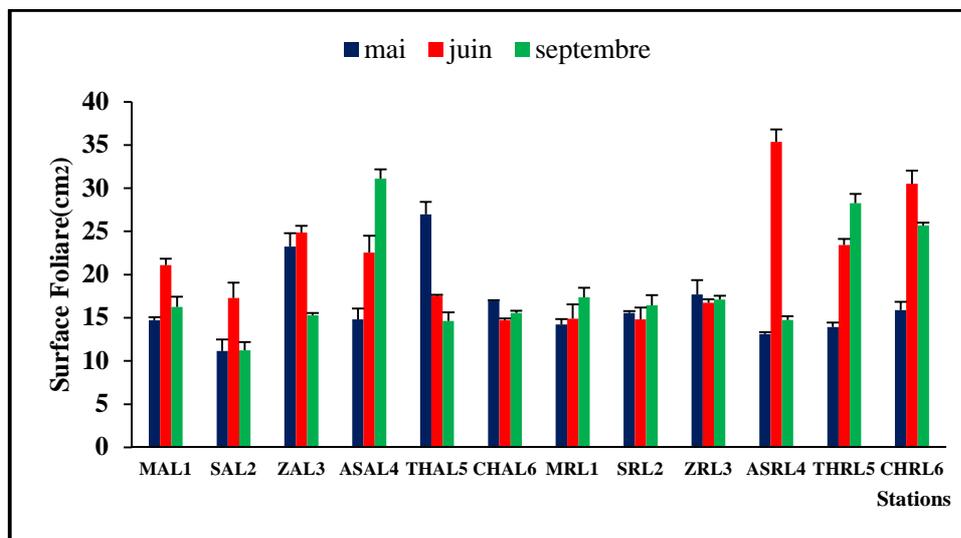


**Figure 43:** Variation de la surface foliaire (cm<sup>2</sup>) en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoides*

Sur le coté retour pour le mois de juin et septembre, le test de l'analyse de la variance à révéler une différence très hautement significative ( $Pr < 0,0001$ ). Effectivement, le test de Newman et Keuls au seuil de 5% pour le mois de juin a révéler cinq groupes homogènes. Le premier groupe (A) présente ASRC4, le deuxième groupe (B) présente ZRC3, le troisième groupe (C) présente CHRC5, le quatrième groupe (D) présente SRC2 et THRC5. Le dernier groupe (E) présente MRC1. Alors que pour le mois de septembre, ce même test à donner six groupes homogènes (A), (B), (C), (D), (E) et (F) dont les stations de THRC5, ASRC4, CHRC6, ZRC3 et SRC2 MRC1 sont affectés respectivement.

#### • *Nerium oleander*

Comme le montre la figure 44, la surface foliaire pour *Nerium oleander* varie dans le temps et dans l'espace. La valeur maximale est enregistrée en mois de juin où la surface foliaire est plus importante. En effet la valeur maximale est à ASRL2 de ( $35.38 \pm 1.44$  cm<sup>2</sup>) et la valeur minimale est de ( $14.76 \pm 0.18$  cm<sup>2</sup>) à CHAL6. En mois de septembre, la moyenne de surface foliaire est légèrement élevées dont la valeur maximale est de ( $31.12 \pm 1.08$  cm<sup>2</sup>) enregistré à ASAL4. Alors qu'en mois de mai cette valeur tend à se diminuer où on enregistre une surface maximale de ( $26.97 \pm 1.45$  cm<sup>2</sup>) à THAL5 et la valeur minimale à SAL2 de ( $11.17 \pm 1.32$  cm<sup>2</sup>).



**Figure 44:** Variation de la surface foliaire (cm<sup>2</sup>) en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

L'analyse de la variance confirme ces résultats en notant une différence très hautement significative avec ( $P < 0,0001$ ) pour les trois mois de prélèvement (aller et retour). Effectivement le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a fait ressortir de trois à quatre groupes homogènes.

En mois de mai, sur le coté aller, notre test à révéler quatre groupes homogènes. Le groupe (A) est représenté par THAL5, le groupe (B) représenté par CHAL6, le groupe (C) est représenté par deux stations MAL1 et SAL2. Le groupe (D) représente les valeurs de surface foliaire les plus faible dans lequel ASAL4 et ZAL3 sont affectés. En mois de juin ce même test à fait ressortir cinq groupes homogènes. Le groupe dominant (A) présente ASAL4, le groupe (B) présente THAL5, le groupe (C) présente MAL1, le groupe (D) présente ZAL3. Le cinquième groupe présente SAL2 et CHAL6. Alors qu'un mois de septembre, le test de Newman et Keuls au seuil de 5% a révélé six groupes dont deux groupes sont intermédiaire. Les groupes obtenus sont (A), (B), (BC), (CD), (D) et (E), les stations ASAL3, SAL2, CHAL6, MAL1, THAL5 et ZAL3 sont respectivement affectés.

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5%, va dans le même sens des résultats qu'on vient de présenter sur le coté retour, où on relève le dégagement de trois groupes en mois de mai. Les valeurs de surface foliaire les plus élevées sont enregistrées à ZRL3, cette dernière est affectée au groupe dominant (A). Par opposition, les stations de THAL5, CHRL6 et MRL1 sont affectés au groupe (B) et les stations d'ASRL4 et SRL2 sont affectés au groupe

(C). En mois de juin ce même test à fait ressortir cinq groupes homogènes. Le groupe (A) dominant représenté par ASRL4 où la surface foliaire est la plus élevée. Le groupe (B) représente CHRL6, le groupe (C) présente SRL2 et MRL1, le groupe (D) présente ZRL3.

Le dernier groupe (E) présente THRL5. En mois de septembre cinq groupes homogènes ont été révélés par le biais du test de Newman et Keuls au seuil de 5%, les stations de MRL1, ASRL4, CHRL6, et THRL5 sont affectées aux groupes (A), (B) (C) et, (D) respectivement. Les deux stations SRL2 et ZRL3 enregistrent les valeurs les plus faibles de surface foliaire, elles sont affectées au dernier groupe (E).

► Dans le cas des polluants atmosphériques, on considère que la voie foliaire est la voie majoritairement concernée. Cette capture des polluants atmosphériques par la feuille peut s'effectuer au moyen de 2 voies une est dite stomatique et l'autre est cuticulaire (**Garrec., 2010**).

En effet l'élimination des polluants atmosphériques par la surface foliaire est en fonction de la nature non seulement de la surface foliaire mais aussi des polluants atmosphériques (organique ou inorganique). Les particules en suspension par exemple peuvent être anguleuses ou émoussées (**Anonyme., 2010**), alors que la surface foliaire est caractérisée par sa rugosité et son caractère lipophile (**Garrec., 2010**). Les feuilles d'*Acacia retinoides* ou proprement dite les phyllodes sont disposées en plans verticaux, une réponse adaptative à des conditions climatiques agressives ; selon diverses études comparatives, les phyllodes résistent mieux que les feuilles aux sécheresses et aux fortes insolation ainsi qu'au froid c'est ce qu'on a remarqué au cours de notre étude.

La surface foliaire est un paramètre qui joue un rôle important dans le contrôle de l'activité photosynthétique chez les plantes. En effet une étude sur les réponses écophysologiques d'essences forestières urbaines soumises à une fertilisation avec les boues d'épuration, il a été démontré que l'augmentation de la surface foliaire conduit à une accumulation des réserves carbonées de la plante et toute réduction de ce paramètre engendre une destruction de la source et de l'investissement réalisé dans les feuilles. Ce paramètre constitue donc un indicateur sensible de la tolérance aux stress de l'environnement. Les symptômes visibles fournissent aussi de bio-indications sur la sensibilité comparative des différentes espèces (**Benterrouche., 2006**). La réduction de la croissance chez un végétal est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique (**Zhu., 2001 cité par Benterrouche., 2006**). En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les

dommages seront irréversibles ( **Bouchoukh.,2010**). En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil ou les dommages seront irréversibles ( **Bouchoukh.,2010**).

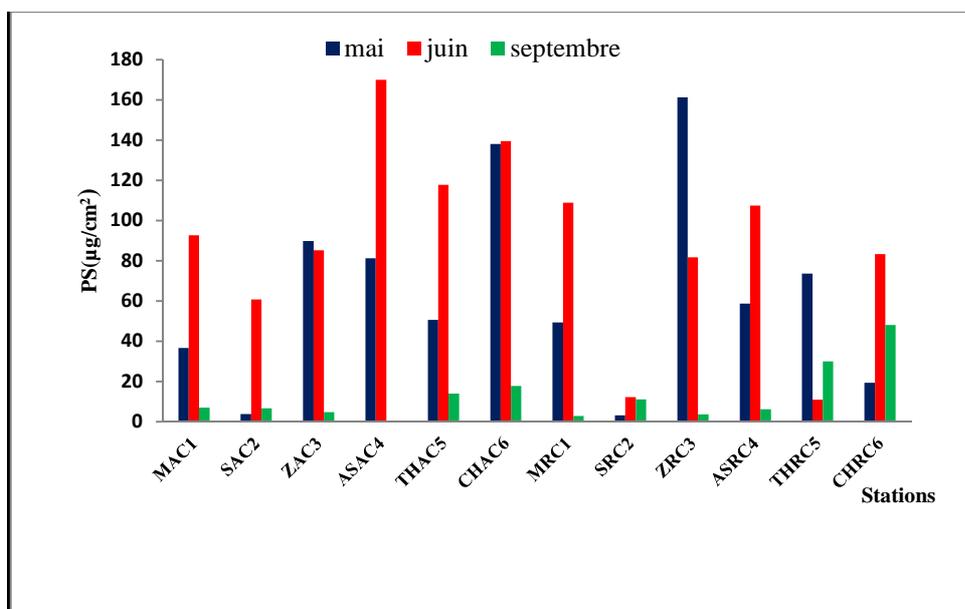
### 7.3. Particules en suspensions (poussière)

- *Acacia retinoïdes*

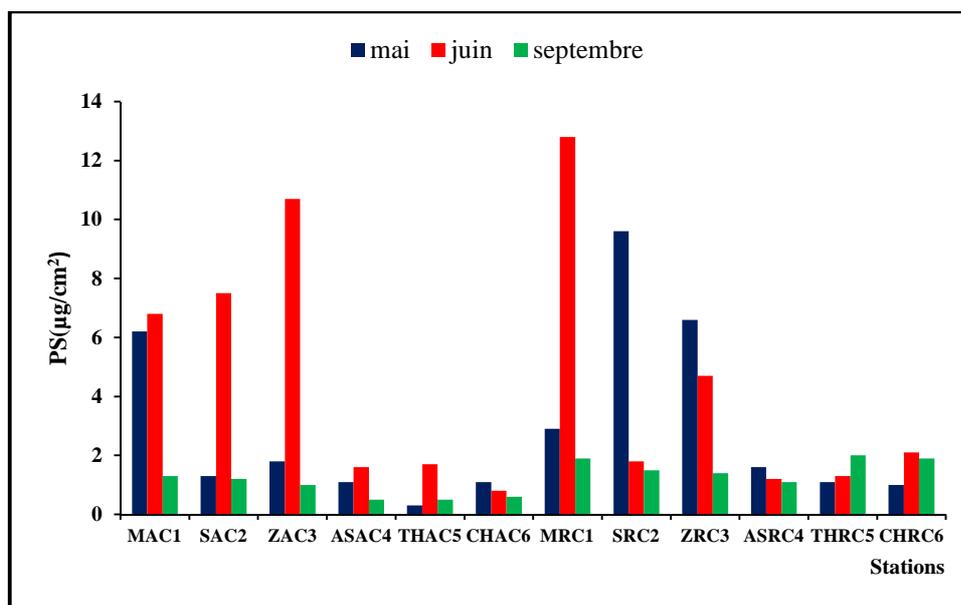
La quantité de poussière extraite par les deux solutions de lavage nous a permis d'obtenir des quantités qui varient dans le temps et dans l'espace.

En effet, les quantités les plus élevées de poussières sont extraites par l'EDTA où on a enregistré en mois de mai et juin des quantités de  $161\mu\text{g}/\text{cm}^2$  et  $170\mu\text{g}/\text{cm}^2$  respectivement à ZRC3 et ASAC4. Les plus faibles valeurs sont enregistrées en mois de septembre dont nous avons enregistré des valeurs variant entre  $0.4\mu\text{g}/\text{cm}^2$  et  $2.8\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , (Fig. 45).

La quantité de poussière extraite par la solution Hcl est inférieure par rapport à celle extraite par la solution d'EDTA. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en mois de juin, présentées par la station de MRC1 d'une valeur de  $12.8\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , les valeurs les plus faibles sont enregistrées en mois mai et septembre avec des valeurs qui ne dépassent pas  $0.3\mu\text{g}/\text{cm}^2$  à  $0.5\mu\text{g}/\text{cm}^2$  représente respectivement les deux stations de THAC5 et ASAC4 respectivement, (Fig. 46).



**Figure 45:** Variation des particules en suspensions extraite par l'EDTA ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoïdes*



**Figure 46:** Variation des Particules en Suspensions extraite par l'Hcl ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoides*

L'analyse de la variance pour un critère de classification pour les deux solutions de lavage utilisées EDTA et Hcl à révéler un effet station non significatif pour ce paramètre durant les trois mois d'étude (mai, juin et septembre), (annexe 9).

#### ■ EDTA

En mois de mai, l'analyse de la variance pour un facteur de classification à révéler un effet non significatif soit du côté aller ou du côté retour dont ( $P= 0.862$ ) et ( $P= 0.118$ ) respectivement. En mois de juin, l'analyse de la variance pour un critère de classification montre aussi une variabilité non significative sur les deux côtés aller et retour de l'autoroute avec une probabilité ( $P=0.760$  et  $P=0.678$ ) respectivement. Pour le mois de septembre, l'analyse de la variance nous montre une différence non significative entre les stations de prélèvement pour ce paramètre sur les deux côtés aller et retour respectivement de ( $P= 0.673$ ) et ( $P= 0.806$ ).

#### ■ Hcl

L'analyse de la variance pour un critère de classification à révéler une différence non significative entre les stations par rapport à la quantité de particule en suspension sur le côté aller et retour de l'autoroute dont ( $P= 0.919$ ) et ( $P= 0.890$ ) respectivement.

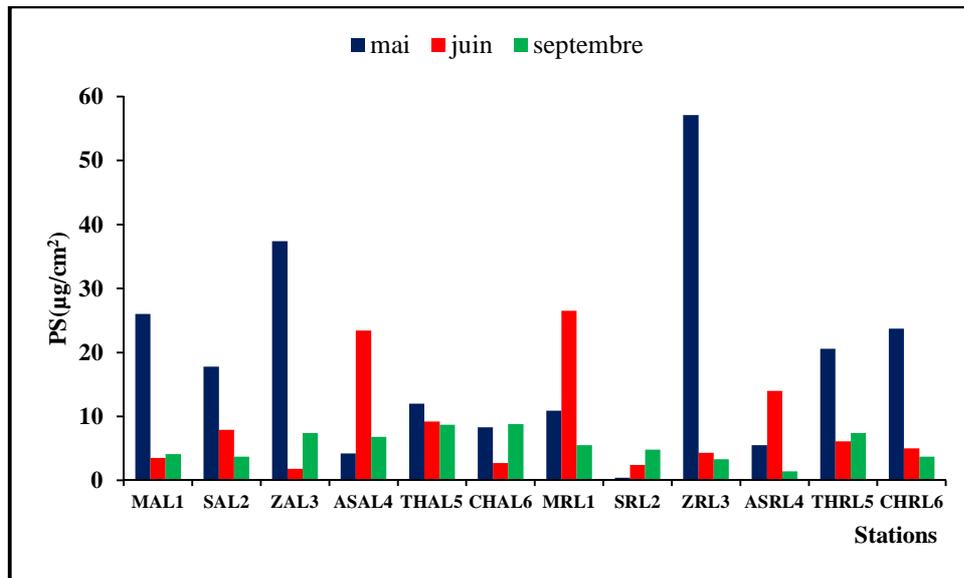
En mois de juin, nous avons aussi obtenu un effet non significatif entre stations où l'analyse de la variance à révéler une probabilité ( $P= 0.651$  et  $P=0.094$ ) sur l'aller et le retour

respectivement. En mois de septembre, le test de l'anova montre une différence non significative entre les stations d'échantillonnage soit du coté aller que du coté retour pour ce paramètre dont (P= 0.775 et P= 0.474) respectivement.

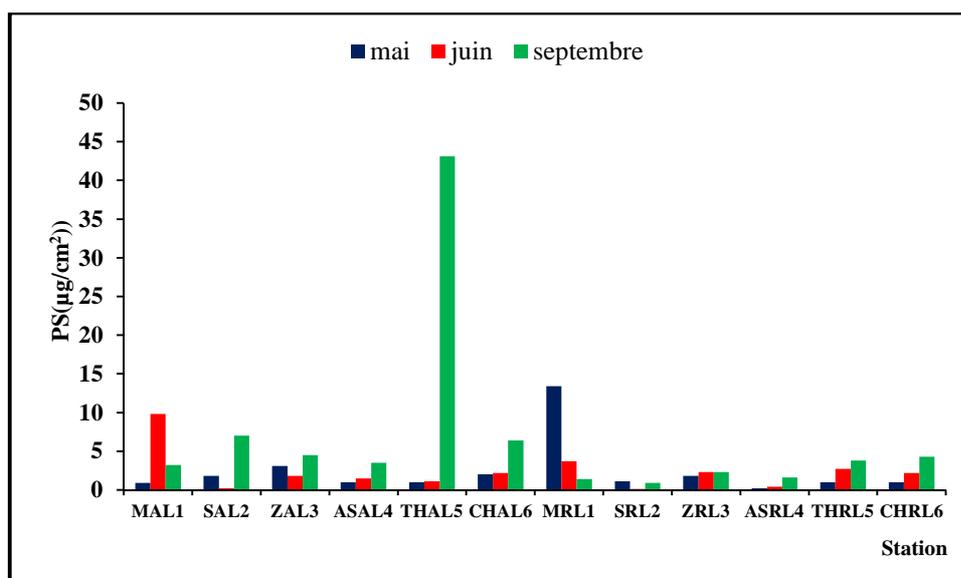
- *Nerium oleander*

L'extraction de la poussière en utilisant les deux solutions (EDTA et Hcl) nous a parmi d'obtenir des quantités qui varie selon les stations de prélèvement.

En mois de mai, les valeurs les plus élevées de poussière extraite par l'EDTA sont enregistré au niveau de la station ZAL3 et ZRL3 de  $37\mu\text{g}/\text{cm}^2$  et  $57.1\mu\text{g}/\text{cm}^2$  respectivement en mois de mai. En mois de juin les valeurs les plus élevé sont enregistré à ASL4 et MRL1 respectivement de  $23.4\mu\text{g}/\text{cm}^2$  et  $26.5\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , (fig.47), le mois de septembre enregistre les valeurs les plus faibles qui ne dépassent pas  $8.8\mu\text{g}/\text{cm}^2$ . Par opposition, la quantité de poussière extraite par la solution de l' Hcl est plus ou moins faible en comparaison de l'EDTA comme le montre les figures (47 et 48). Effectivement la valeur maximale est enregistrée en mois de septembre de  $43\mu\text{g}/\text{cm}^2$  à THAL5, et la quantité minimale extraite est en moi de juin de  $0.1\mu\text{g}/\text{cm}^2$  à SRL2.



**Figure 47:** Variation des particules en Suspensions extraite par l'EDTA ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*



**Figure 48:** Variation des Particules en Suspensions extraite par l'Hcl ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

#### ■ EDTA

L'analyse de la variance pour un critère de classification pour ce paramètre, montre une différence non significative sur les trois campagnes de prélèvement. Effectivement, en mois de mai le test de l'analyse de la variance à révéler une différence non significative sur les deux coté de l'autoroute (aller et retour) dont ( $P=0.634$  et  $P=0.461$ ) respectivement. En mois de juin l'analyse de la variance montre aussi une différence non significative pour ce paramètre entre les stations d'échantillonnages où ( $P=0.268$  et  $P=0.260$ ) respectivement sur le coté aller et retour de l'autoroute. En mois de septembre, l'analyse de la variance pour un facteur de classification à donner une différence non significative avec ( $P=0.945$  et  $P=0.223$ ) respectivement pour le coté aller et retour, (annexe 9).

#### ■ Hcl

En ce qui concerne l'utilisation de la solution de l'Hcl pour l'extraction des particules en suspension des feuilles, l'analyse de la variance pour ce paramètre à révéler une différence non significative sur les trois mois de prélèvement.

En mois de mai, l'anova montre une différence non significative avec ( $P=0.104$  et  $P=0.079$ ) sur les deux cotés de l'autoroute (aller et retour) respectivement. En mois de juin ce même test à donner une différence non significative pour ce paramètre (particule en suspension) avec une probabilité ( $P=0.976$  et  $P=0.737$ ) pour l'aller et le retour respectivement. En mois de septembre l'analyse de la variance à révéler aussi une différence non significative pour ce critère dont ( $P=0.016$  et  $P=0.921$ ) pour l'aller et le retour, (annexe 9).

► Les variations non significative pour les particules en suspensions révélé par l'analyse de la variance, montrent que les stations n'ont pas d'effet sur la variabilité des particules accumulés sur la surface foliaire pour les deux espèces utilisées (*Nerium olander* et *Acacia retinoïdes*). Ceci est dû probablement à la durée d'échantillonnage qui n'est pas suffisante (trois mois) dont la durée d'exposition préconisée pour l'étude des particules fixée sur les surfaces foliaires est dix mois (**Anonyme., 2010**), en plus les stations de prélèvement sont exposées aux mêmes conditions météorologique puisqu'ils appartiennent à la même région d'étude. Le déplacement des polluants depuis leur source, c'est-à-dire leur dispersion, est un facteur déterminant de leur accumulation ou leur dilution dans l'atmosphère. La dispersion dépend de plusieurs paramètres dont les conditions météorologiques (vent, humidité, soleil etc.), la topographie locale (altitude, relief, cours d'eau, etc.) mais aussi des réactions chimiques (**El yamani., 2006**). Selon (**Deletraz et Paul., 2008**), la quantité de polluant dispersée et déposée aux abords de la route est en fonction du trafic et du parc automobile (nombre de véhicule par jour ; type de véhicule, de motorisation ; vitesse, etc.). Cette quantité varie donc dans le temps selon les pointes de trafic qu'on observe généralement à l'échelle journalière, hebdomadaire et/ou annuelle. La dispersion des polluants émis varie selon la structure du site (vallée, route en déblai, en remblai, pente, etc.) et surtout selon la météorologie : la structure verticale de l'atmosphère détermine la température des couches d'air qui peuvent parfois être très défavorables à la dispersion des polluants. C'est le cas lors des inversions thermiques.

Dans la région de Constantine, les vents ne sont pas assez forts pour permettre une importante dispersion des polluants (particules en suspensions) dans l'atmosphère. En effet, sur la période de 1995 à 2006 on a enregistré 15328 vents calmes c'est à dire près de 44.7 % sur la totalité des vents. Les précipitations ont aussi un effet sur l'accumulation des particules en suspension dont ils favorisent le lavage des feuilles donc la diminution des quantités de particules où on a enregistré sur la période de 2000-2013 un cumule de précipitation de 40mm, 25mm et 35mm en mai, juin et septembre respectivement (**<http://meteonews.fr>**).

Durant les trois campagnes de prélèvements, la température moyenne journalière maximale en mois de mai est de 26°C et la minimale est de 11 °C, alors qu'en mois de juin, la température moyenne maximale est de 31°C et la minimale est de 16°C. En mois de septembre, la température moyenne maximale est de 29°C et la minimale est de 16°C (**<http://meteonews.fr>**). En plus les plantes ont la capacité de piéger les poussières sur la surface de leurs feuilles. Ces particules s'accumulent par sédimentation, impaction et les précipitations. Les plantes qui ont des surfaces rugueuses, de poils fins et les veines sont plus efficaces pour capturer

les particules de poussière que les plantes à feuilles lisses. Le caractère lipophile des cires épicuticulaires et la présence d'eau sont autant de paramètres permettant de capter les polluants particulaires. Ce sont les composés de volatilité moyenne, de haut poids moléculaire (poussière, aérosol) qui se déposeront préférentiellement sur la cuticule. La perméabilité et la diffusion de ces composés semblent plus importantes dans les feuilles des espèces caduques que dans celles d'espèces persistantes (**Guigon., 2011**).

Selon une recherche canadienne sur la capacité d'interception des plantes de particule en suspensions et plus particulièrement chez les arbres urbains a démontré qu'un arbre mature en bonne santé peut capter 7000 particule en suspension par litre d'air, il peut également intercepter jusqu'à 20kg de poussière par an. Il est rapporté aussi que dans l'air des rues dépourvues d'arbres, 10 000 à 12 000 particules par litre d'air sont présentes alors que dans les rues voisines bordées d'arbres, on ne compte plus que 3000 particules par litre d'air. Des espèces d'arbres connus par leurs grande capacité d'interception en particules en suspensions sont : le pin noir de Corse (*Pinus nigra* var. *maritima*), le Cyprès de Leyland (*Cupressocyparis leylandii*), l'érable champêtre (*Acer campestre*), l'alisier de Suède (*Sorbus intermedia*), et un peuplier hybride (*Populus deltoides* × *trichocarpa* 'Beaupré').

Les capacités d'interception maximum passaient de 2,8 % pour *P. nigra*, à 0,12 et 0,06 % pour *P. trichocarpa*×*deltoides* et *A.campestre*, respectivement. Le feuillage des conifères étudiés (*P. nigra* et *C. leylandii*) dont la structure est plus fine et complexe expliquerait leur plus grande efficacité pour la capture des particules (**Vergriete et Labrecque., 2007**).

La moyenne annuelle des particules en suspension dans la communauté urbaine de Montréal, entre 1991 et 2001, était de  $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dans le cas des particules fines dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 micromètres ( $\text{PM}_{10}$ ), la moyenne annuelle entre 1994 et 2000 à Montréal, était d'environ  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

A Londres les niveaux mesurés en 2005 de  $\text{PM}_{10}$  est comprise entre 20 et  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les stations urbaines et périurbaine de font. En stations de proximité au trafic routier, cette quantité est plus ou moins élevée d'ordre de 30 à  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (**Vergriete et Labrecque., 2007**). Selon les normes européenne la valeur limite annuelle des particules en suspensions est de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  alors que les normes américaine cette valeurs est de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  annuel ou  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 24 h (**Mascllet., 2005**) et les normes pancanadienne est de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pour la loi française sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE), les normes limites de cette concentration sont d'une valeur de  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 24h et  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 1 an (**Mascllet., 2005**). En comparant nos résultats aux normes internationales on remarque que les deux stations qui marquent les valeurs les plus compatibles pour *Acacia retinoïdes* sont ZRC3 et ASAC4 de

161 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  et 170 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  respectivement en mois de mai et juin. Alors que pour *Nerium oleander* on enregistre les valeurs de 37 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  et 57.1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  pour les deux stations de ZAL3 et ZRL3.

#### 7.4. L'analyse en Composante Principale (ACP)

Le but de l'analyse en Composante Principale est de tirer le maximum d'information tout en explorant un ensemble d'observations de valeurs quantitatives (variable-station). Pour notre travail, on a voulu voir la répartition et l'interaction des sept variables (ChlT, Pro, Suc Sob, SF, MF/MS et  $\text{PS}_{\text{EDTA}}$  et  $\text{PS}_{\text{HCl}}$ ) durant les trois campagnes de prélèvements.

Pour effectuer cette analyse on a choisie de l'appliquer sur chaque campagne de prélèvement pour mieux éclairer les observations et pour éviter que le nuage de point soit plus dense et on ne verra pas par conséquence de grand-chose.

##### 7.4.1. *Acacia retinoïdes*

Pour faciliter la représentation des stations sur nuage de point (plan ACP), on a codé ces stations en chiffres, (annexe 10).

##### ■ Mois de mai

Le tableau (19), nous montre l'existence de corrélation hautement significative à non significative. Ainsi, les deux paramètres d'*Acacia retinoïdes*, la Pro et la SF sont fortement et positivement corrélés avec un coefficient de corrélation de 0.75, du même la ChlT et  $\text{PS}_{\text{EDTA}}$  se corrént fortement et positivement avec un coefficient de corrélation de 0.53. En ce qui concerne les  $\text{PS}_{\text{HCl}}$  on voie clairement qu'ils se corrént parfaitement avec la SF et la Pro où on a des coefficients de corrélations de 0.55 et 0.47 respectivement. Alors que  $\text{PS}_{\text{EDTA}}$  corréle négativement avec la SF de -0.52.

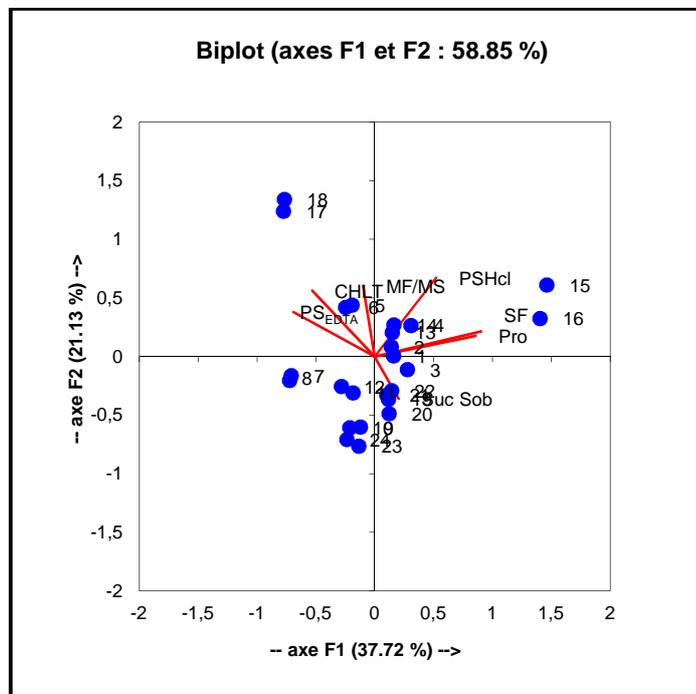
Les pourcentages expliqués par les axes principaux, donnent un premier plan correspondant à 58.85% de l'inertie totale. L'axe 01 porte à lui seul 37.72% de la variation.

Les variables qui contribuent le plus à la formation de cette composante sont la Pro et la SF avec la station de SRC2.

**Tableau 19 :** Matrice de corrélation pour *Acacia retinoïdes* en moi de mai

	ChIT	Suc Sob	Pro	SF	MF/MS	PS <sub>EDTA</sub>	PS <sub>Hcl</sub>
ChIT	1	-	-	-	-	-	-
Suc Sob	-	1	-	-	-	-	-
Pro	-	-	1	-	-	-	-
SF	-	-	<b>0.75</b>	1	-	-	-
MF/MS	-	-	-	-	1	-	-
PS <sub>EDTA</sub>	<b>0.53</b>	-	-	<b>-0.52</b>	-	1	-
PS <sub>Hcl</sub>	-	-	<b>0.47</b>	<b>0.55</b>	-	-	1

L'axe 02 porte seulement 21.13% par apport à l'axe 01, et sur le cercle de corrélation (variables individus), on remarque que la ChIT et PS<sub>Hcl</sub> contribuent fortement à la formation de cet axe 02. La station de ZRC3 se corréle aussi fortement à cet axe avec ces deux variables, (Fig. 49).



**Figure 49 :** Cercle de corrélation (variables-individus) de l'espèce *Acacia retinoïdes* en mois de mai

► En mois de mai, l'ACP nous a montré l'existence de corrélation entre les paramètres physiologique et morphologique selon la concentration des particules déposées sur la surface foliaire d'*Acacia retinoïdes*. Effectivement, l'accumulation de la ChIT a connu des concentrations élevées enregistré en station de SRC2 et ZRC3, ceci nous démontre que le végétal est en plein croissance (période de floraison) et l'accumulation de la poussière (PS<sub>EDTA</sub>) sur la surface foliaire n'interrompt pas cette activité (la photosynthèse) pourtant nous enregistrons une accumulation considérable de l'acide aminé « la Proline » (réponse au

stress), l'augmentation de l'accumulation de Pro peut être due probablement aux autres contraintes environnementales tel que la salinité ou sécheresse (Levigneron et al., 1995). Au cours de notre étude nous avons remarqué l'absence des cas de chlorose ou de nécrose au niveau des individus, on peut donc conclure que l'action des particules et beaucoup plus en qualité (composition chimique) qu'en quantité, ceci est due peut être au temps de déposition qui est insuffisant ou encore aux conditions météorologique (température, Précipitation ou le taux d'humidité et la vitesse des vents).

### ■ Mois de juin

La matrice de corrélation (Tab.20) montre des corrélations de significative à très fortement significative entre les variables. En effet, La ChlT et très fortement significative avec les Suc Sob et la Pro, ils se corrént positivement avec un coefficient de corrélation de 0.64 et 0.62 respectivement. Alors qu'avec les  $PS_{HCl}$  nous enregistrent une corrélation négative de -0.41.

Les Suc Sob se corrént positivement avec la SF avec un coefficient de corrélation de 0.48, et finalement le rapport MF/MS se corréle positivement avec les  $PS_{EDTA}$  où on enregistre un coefficient de corrélation de 0.58.

Pour ce mois, on a pus ressortir deux axes (F1 et F2) avec un taux d'inertie de 57.74%. En analysant le cercle de corrélation (variable individus) nous remarquons que la ChlT, Pro, Suc Sob et le rapport MF/MS contribuent fortement à la formation de l'axe 01 ainsi que la station de ZRC3. Le rapport MF/MS corréle négativement à cet axe 01. Sachant que cet axe 01 porte à lui seul un taux d'inertie de 37.10%. La station de MAC1 est liée à la formation de cet axe 01 mai négativement, (Fig. 50).

**Tableau 20** : Matrice de corrélation pour *Acacia retinoïdes* en moi de juin

	ChlT	Suc Sob	Pro	SF	MF/MS	$PS_{EDTA}$	$PS_{HCl}$
ChlT	1	-	-	-	-	-	-
Suc Sob	0.64	1	-	-	-	-	-
Pro	0.62	-	1	-	-	-	-
SF	-	0.48	-	1	-	-	-
MF/MS					1		
$PS_{EDTA}$	-	-	-	-	0.58	1	-
$PS_{HCl}$	-0.41	-	-	-	-	-	1

En ce qui concerne l'axe 02, il représente seulement 20.64%. La Pro, le rapport MF/MS,  $PS_{EDTA}$  contribuent fortement à la formation de cet axe avec les stations d'ASAC4 et CHAC6 et THAC5. Contrairement au paramètre  $PS_{HCl}$  qui contribue négativement à la formation de l'axe 02 avec la station de SRC2.

► L'accumulation de la proline accompagnés de concentration élevé des Suc Sob, nous montre que cet espèce est en état de stress, mais la concentration élevé de la ChIT indique une tolérance de cette espèce surtout que le végétale est en période de floraison, c'est-à-dire en plein activité. Ces changements en paramètre biochimiques sont observés au niveau de la station de ZRC3.

En station de MAC1 on a enregistré seulement une augmentation du rapport MF/MS alors que les autres paramètres de stress ne se manifestent pas. Il faut noter que la concentration en particules est importante ( $PS_{EDTA}$ ) sur la surface foliaire.

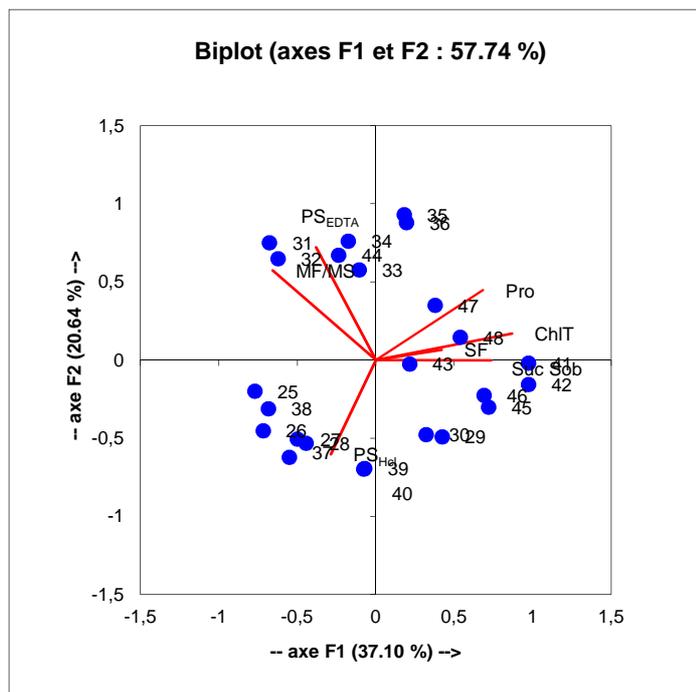


Figure 50 : Cercle de corrélation (variables-individus) de l'espèce *Acacia retinoides* en mois de juin

■ Mois de septembre

En mois de septembre, la matrice de corrélation (Tab. 21), nous montre clairement des corrélations significative à non significative. En effet les Suc Sob se corrént très positivement avec la Pro et SF avec un coefficient de corrélation de 0.55 et 0.51 respectivement. La ChIT se corréle positivement avec la  $PS_{Hcl}$  avec un coefficient de corrélation de 0.41 alors qu'avec la SF on note une corrélation négative de -0.54. La Pro se corréle positivement avec la  $PS_{Hcl}$  avec un coefficient de corrélation de 0.47.

Tableau 21: Matrice de corrélation pour *Acacia retinoides* en moi de septembre

	ChIT	Suc Sob	Pro	SF	MF/MS	$PS_{EDTA}$	$PS_{Hcl}$
ChIT	1	-	-	-	-	-	-
Suc Sob	-	1	-	-	-	-	-
Pro	-	<b>0.55</b>	1	-	-	-	-
SF	<b>-0.54</b>	<b>0.51</b>	-	1	-	-	-
MF/MS	-	-	-	-	1	-	-
$PS_{EDTA}$	-	-	-	-	-	1	-
$PS_{Hcl}$	<b>0.41</b>	-	<b>0.47</b>	-	-	<b>0.44</b>	1

Graphiquement, l'ACP nous a permis de retenir deux axes (F1 et F2) dont leur taux d'inertie est de 59.20% de la variation. L'axe01 porte à lui seul un taux de 34.73%. Les variables qui contribuent le plus à la formation de cette composante sont Pro, SF, et les Suc Sob ainsi que la station de THAC5 et CHAC6. La ChIT et  $PS_{HCl}$  contribuent à la formation de cet axe avec la station MRC1 mais négativement. L'axe 02 porte seulement un taux de variation de 24.47%. Les Suc Sob, les  $PS_{HCl}$  et  $PS_{EDTA}$  corréleront parfaitement à l'axe vertical 02 avec les stations de THRC5 et CHRC6. La station d'ASAC2 contribue faiblement à la formation de cet axe et corréle négativement, (Fig. 51).

► En période de maturation (mois de septembre), nous remarquons que le végétal est en état de stress par l'accumulation élevée de Pro et des Suc Sob. Selon (**Levigneron et al., 1995**), la première manifestation du végétal lorsqu'il est en état de stress est la réduction de croissance, ceci se traduit automatiquement par la réduction de la surface foliaire mais n'ont pas de la photosynthèse (synthèse de Chlorophylle). Dans notre cas, la surface foliaire à connue des variations élevés aux cours des trois stades de développement d'*Acacia retinoides* et essentiellement au niveau des deux stations THAC5 et CHRC6 où la surface foliaire est maximale. Les mêmes observations sont enregistrées au niveau de la station de THRC5 que les deux stations précédemment citées. Ceci se traduit par les niveaux de particule en suspension ( $PS_{EDTA}$ ) qui peuvent être plus élevés dans les régions rurales pendant la saison des allergies ( printemps) lorsque de nombreuses plantes et herbes dégagent leur pollen. Alors que dans les régions urbaines, la quantité totale de particules en suspension peut refléter la densité de la circulation, la construction ou d'autres activités qui produisent de la poussière. Dans ce contexte, **Auclair (1977)**, dans une recherche sur le peuplier euro-américain (*Populus euramericana*) a démontré l'action physique de l'empoussièrement sur le mécanisme stomatique d'une part, et d'autre part, sur la modification de l'énergie lumineuse et les propriétés optiques des feuilles par la couche de poussières se trouvant à leurs surfaces.

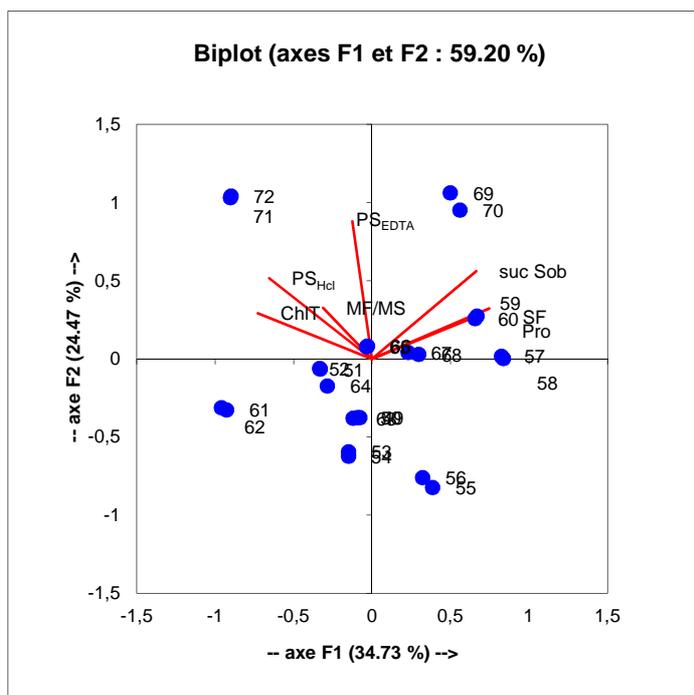


Figure 51 : Cercle de corrélation (variables-individus) de l'espèce *Acacia retinoïdes* en mois de septembre

4.2. *Nerium oleander*

■ Mois de mai

Le tableau 22 de la matrice de corrélation montre des variables qui se corrént fortement entre elles à des variables qui ne se corrént absolument pas. Effectivement, la Pro se corréle positivement et très fortement au PS<sub>Hcl</sub>, alors qu'elle se corréle très fortement mais négativement au rapport MF/MS avec un coefficient de corrélation de -0.52. Tout de même pour la SF qui se corréle positivement avec les PS<sub>EDTA</sub> dont on a enregistré un coefficient de corrélation de 0.49. Les Suc Sob se corrént négativement avec SF et les PS<sub>EDTA</sub> respectivement de -0.43 et -0.47.

Tableau 22 : Matrice de corrélation pour *Nerium oleander* en moi de mai

	ChIT	Suc Sob	Pro	SF	MF/MS	PS <sub>EDTA</sub>	PS <sub>Hcl</sub>
ChIT	1	-	-	-	-	-	-
Suc Sob	-	1	-	-	-	-	-
Pro	-	-	1	-	-	-	-
SF	-	<b>-0.433</b>	-	1	-	-	-
MF/MS	-	-	<b>-0.520</b>	-	1	-	-
PS <sub>EDTA</sub>	-	<b>-0.479</b>	-	<b>0.491</b>	-	1	-
PS <sub>Hcl</sub>	-	-	<b>0.554</b>	-	-	-	1

Les pourcentages expliqués par les axes principaux, donnent un premier plan correspondant à 55.56% de l'inertie totale. L'axe 01 et l'axe 02 se partagent presque la moitié de l'inertie totale (55.56%) dont ils présentent respectivement 29.06% et 26.59% de la variation.

En effet, les Suc Sob contribuent positivement à la formation de l'axe01 alors que la SF et PS<sub>EDTA</sub> contribuent à la formation de cet axe mais négativement.

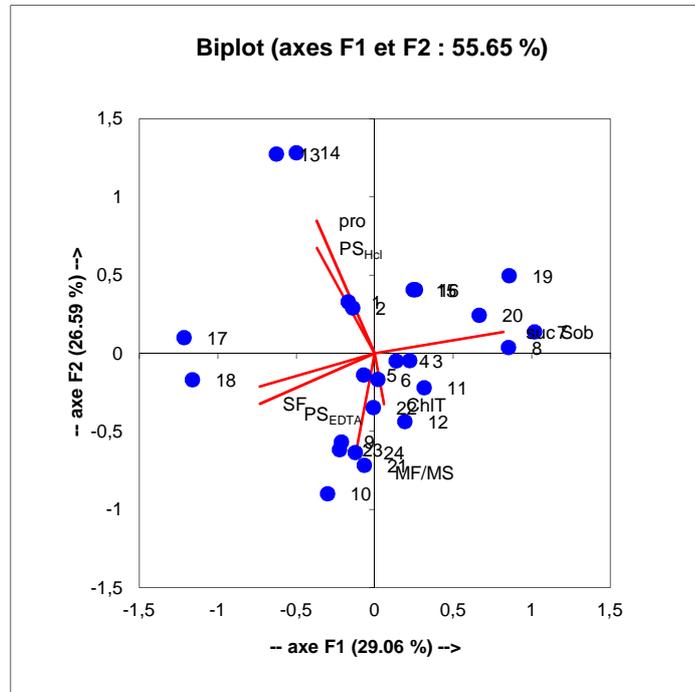


Figure 52 : Cercle de corrélation (variables-individus) de l'espèce *Nerium oleander* en mois de mai

En ce qui concerne l'axe02 on voit clairement que les variables qui contribuent le plus à sa formation sont la Pro et PS<sub>HCl</sub>. Le rapport MF/MS est lié à l'axe02 mais négativement avec la station de MRL1. Effectivement, les stations d'ASAL4, ASRL4 et ZRL3 sont bien liées à l'axe 01, sachant que les deux stations ASAL4 et ASRL4 sont corrélées positivement à l'axe horizontal (01) alors que ZRL3 se corrèle négativement à ce même axe, (Fig. 52).

► Pour le *Nerium oleander*, en mois de mai, la quantité de poussière(PS<sub>EDTA</sub>) fixé sur la surface foliaire est considérable surtout en station de ZRL3, mais cette quantité est médiocre par rapport aux concentrations enregistrés chez *Acacia retinoïdes*. Notons que *Nerium oleander* a des feuilles composée de cuticules poilées alors que mimosa des quatre saisons ne sont que des phyllodes issue du développement du pétiole. En effet, l'élévation de la concentration de particules n'a pas d'effet sur la croissance des feuilles pourtant on a enregistré une accumulation considérable des Suc Sob en station de ASAL4 et la Pro en station de MRL1 qui sont des signes de stress. Les nombreux cas où sont décelées des

accumulations de sucres ou de leur dérivés alcools (mannitol, sorbitol, pinitol et cyclitol...) s'accompagnent aussi d'augmentation d'un des composés aminé (Proline ou glycine-bétaine) (Levigneron.,1995). Par opposition, la station de CHRL6 représente un confort apparent, ceci est prouvé par le rapport MF/MS.

### ■ Mois de juin

La matrice de corrélation (Tab. 23) montre une corrélation très hautement significative entre la ChIT et le rapport MF/MS avec un coefficient de corrélation de 0.69. Alors que les PS<sub>EDTA</sub> et la ChIT se corrént négativement dont nous enregistrons un coefficient de corrélation de -0.53. Les Suc Sob se corrént négativement avec les PS<sub>EDTA</sub> avec un coefficient de corrélation de -0.58.

**Tableau 23 :** Matrice de corrélation pour *Nerium oleander* en moi de juin

	ChIT	Suc Sob	Pro	SF	MF/MS	PS <sub>EDTA</sub>	PS <sub>Hcl</sub>
ChIT	1	-	-	-	-	-	-
Suc Sob	-	1	-	-	-	-	-
Pro	-	-	1	-	-	-	-
SF	-	-	-	1	-	-	-
MF/MS	<b>0.696</b>	-	-	-	<b>1</b>	-	-
PS <sub>EDTA</sub>	<b>-0.536</b>	<b>-0.580</b>	-	-	-	1	-
PS <sub>Hcl</sub>	-	-	-	-	-	-	1

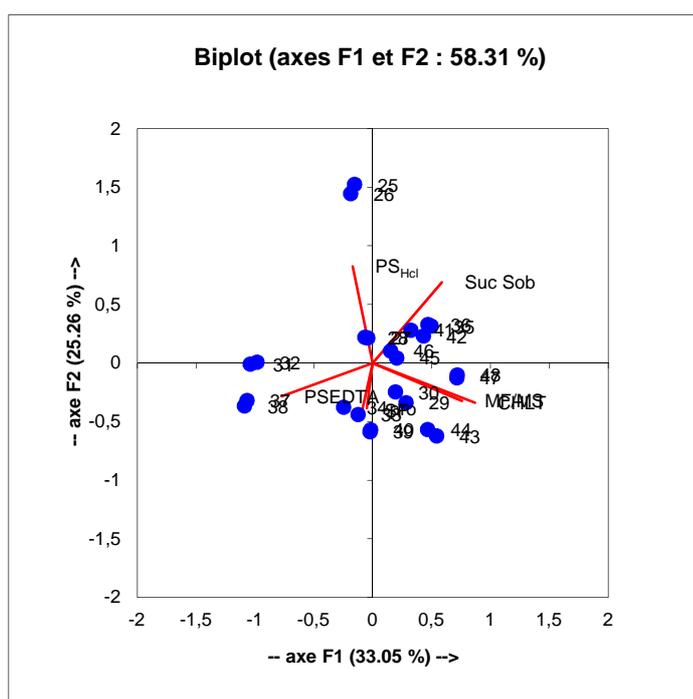
L'analyse en Composante Principale (ACP) a révélé un ensemble d'axes dont nous avons retenus deux axes principaux qui représentent 58.31% de l'inertie total. Les variables qui contribuent le plus à la formation de l'axe 01 dont il porte à lui seul un tau de 33.05% sont ChIT, le rapport MF/MS et PS<sub>EDTA</sub>. Le ChIT et le rapport MF/MS sont liés positivement à l'axe 01 alors que PS<sub>EDTA</sub> est lié négativement à ce même axe.

Sur l'axe 02 deux variables qui contribuent le plus à sa formation qui sont les Suc Sob et PS<sub>Hcl</sub>, ils sont liés positivement à cet axe. Les stations qui contribuent le plus à la formation de l'axe 01 sont ASAL4 et MRL1, elles sont liées négativement à cet axe. Pour l'axe 02, la station de MAL1 contribuent le plus à sa formation, (Fig. 53).

► En mois de juin, au niveau des deux stations ASAL4 et MRL1, on voie clairement que la teneur en ChIT est élevée, cette teneur se traduit par le rapport MF/MS dont il a marqué les valeurs les plus élevées sur les trois mois de prélèvements, ce rapport indique éventuellement la qualité de l'air, pourtant la concentration en PS<sub>EDTA</sub> a enregistré des valeurs élevés, donc cette espèce est tolérante à cette contrainte. **Auclair (1977)** à expliquer ce phénomène par une expérience faite sur le peuplier euro-américain (*Populus euramericana*) et le Pin sylvestre

(*Pinus silvestris*), il a démontré que la photosynthèse est plus forte chez les peupliers empoussiérés que chez les peupliers propres. Ceci peut s'expliquer de la manière suivante, les poussières de charbon, absorbant du rayonnement infrarouge transforment cette énergie en chaleur et réchauffent donc la feuille. Ce réchauffement entraîne une augmentation de la vitesse des réactions enzymatiques dans la feuille ainsi que de la vitesse de diffusion du gaz carbonique. La photosynthèse est donc favorisée.

Notons aussi, que les deux stations de prélèvements (ASAL4 et MRL1) sont caractérisées par la présence d'une végétation dense, et la présence des travaux au niveau de l'autoroute Est Ouest (tronçon El Mridj), c'est des raisons pour lequel on a enregistré des concentrations élevées en  $PS_{EDTA}$ . Dans le cas où la photosynthèse est réduite ceci est dû à l'effet « d'ombrage » c'est-à-dire la formation d'un écran suite à la déposition de poussière des bordures d'autoroute sur les faces supérieures des feuilles et d'un obstacle à la diffusion des gaz dû aux poussières sur les faces inférieures des feuilles, là où se trouvent la majorité des stomates. En station de MAL1, on enregistre une accumulation importante en sucres solubles (Suc Sob) avec une concentration médiocre en  $PS_{HCl}$ .



**Figure 53 :** Cercle de corrélation (variables-individus) de l'espèce *Nerium oleander* en mois de Juin

#### ■ Mois de septembre

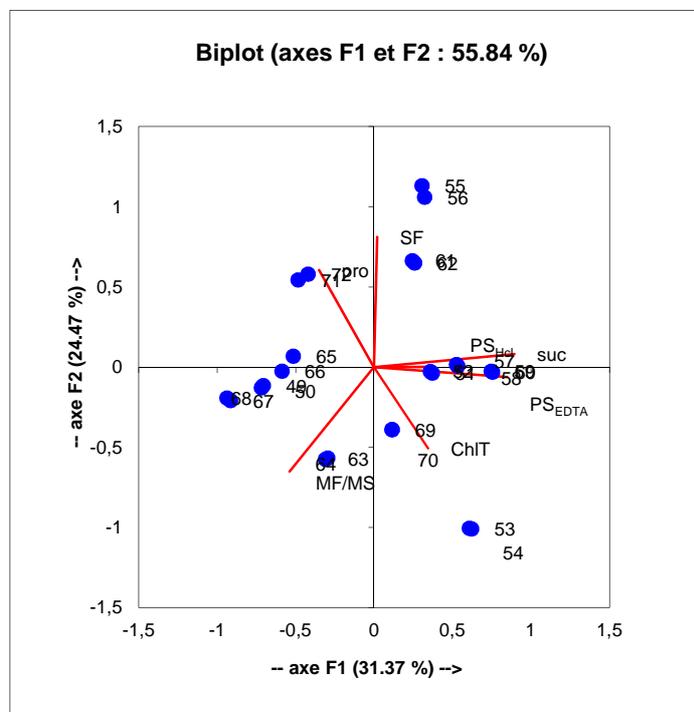
Le tableau 24 présente la matrice de corrélation de notre analyse. Nous remarquons que les Suc Sob se corrélaient négativement avec le rapport MF/MS, alors qu'avec les  $PS_{EDTA}$

ils se corrèlent positivement avec des coefficients de corrélations de -0.52 et 0.62 respectivement. La SF se corrèle négativement avec un coefficient de corrélation de -0.45. Deux axes ont été parfaitement retenus suite à leur grande inertie qui est de 55.84%. En effet, en examinant le cercle de corrélation, on voit clairement que les Suc Sob, PS<sub>EDTA</sub> corrèlent parfaitement à l'axe horizontal 01 qui porte lui seul un taux de 31.37%. La Pro, la SF et le rapport MF/MS corrèlent à l'axe vertical 02. Notons que le rapport MF/MS est lié négativement à cet axe 02 contrairement aux deux variables précédemment cités.

**Tableau 24** : Matrice de corrélation pour *Nerium oleander* en mois de septembre

	ChIT	Suc Sob	Pro	SF	MF/MS	PS <sub>EDTA</sub>	PS <sub>Hcl</sub>
ChIT	1	-	-	-	-	-	-
Suc Sob	-	1	-	-	-	-	-
Pro	-	-	1	-	-	-	-
SF	-	-	-	1	-	-	-
MF/MS	-	-0.523	-	-0.452	1	-	-
PS <sub>EDTA</sub>	-	0.628	-	-	-	1	-
PS <sub>Hcl</sub>	-	-	-	-	-	0.485	1

Parmi les stations les plus proches à l'axe 01 et qui contribuent le plus à sa formation est la station de ASRL4, cette dernière corrèle négativement avec cet axe. Alors que la station de THAL5 corrèle positivement. Les deux stations ZAL3 et ASAL4 contribuent parfaitement à la formation de l'axe vertical 02, et elles corrèlent positivement à ce même axe, (Fig. 54).



**Figure 54** : Cercle de corrélation (variables-individus) de l'espèce *Nerium oleander* en mois de septembre

► En mois de septembre, en stations de SAL2, MRL1, THAL5 et CHRL6, on remarque que les deux paramètres de stress Pro et Suc Sob sont accumulés suite à la concentration élevée de particule ( $PS_{EDTA}$  et  $PS_{HCl}$ ) fixée sur la surface foliaire mais cette quantité reste faible par rapport au mois de mai et juin, ceci est dû probablement aux pluies qui ont touchés la région d'étude en première quinzaine de ce mois, ce qui a provoqué le lessivage des particules. En station de SRL2 et THRL5 la teneur en ChIT est élevée ainsi que le rapport MF/MS.

En résumé, on peut dire que l'analyse en composante principale a révélé un ensemble d'informations entre les paramètres physiologiques et morphologiques les unes avec les autres ainsi que leurs variations dans le temps (trois compagnes) et dans l'espace (stations).

On peut conclure que les végétaux sont utilisés, non seulement pour l'observation des symptômes d'attaque qu'ils manifestent, mais encore comme collecteurs de poussière. L'utilisation des feuilles des végétaux ligneux contribue ainsi à la quantification de la pollution de l'air par les rejets des automobiles dans les centres urbains et les autres sources de particules en suspension.

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

## **Conclusion Générale**

L'objectif de notre étude est de montrer l'importance de l'utilisation des végétaux pour l'évaluation de la pollution atmosphérique. Cette dernière constitue aujourd'hui un problème environnemental très complexe à l'échelle locale et planétaire. En effet, la quantification de la pollution atmosphérique est possible par des espèces ligneuses où les polluants atmosphériques émis de diverses sources (trafic routier, industries, etc.) peuvent se déposer facilement sur leurs surfaces foliaires.

Dans ce contexte, notre étude a été menée sur six stations (cotés aller et retour) le long de l'autoroute Est Ouest dans la région de Constantine : allant d'El Mridj, passant par Sissaoui et Zouaghi, ensuite Ain Smara, Oued El Athmania et terminant par Chalghoum El Aid.

L'échantillonnage a été effectué selon un transect, aux niveaux des pénétrants, porté essentiellement sur les feuilles des deux espèces : *Acacia* des quatre saisons (*Acacia retinoides*) et le laurier rose (*Nerium oleander*), deux espèces pérenne représentatives des stations d'échantillonnages.

La détérioration du milieu naturel touche en premier lieu les caractères morphologiques et physiologiques du végétal. Pour cette raison nous avons mesuré les paramètres morphologiques essentiellement la surface foliaire et le poids sec pour calculer le rapport MF/MS. Ensuite on a quantifié les paramètres physiologiques dont la chlorophylle (Chlorophylle (a), Chlorophylle (b) et Chlorophylle total), la Proline et les sucres solubles. Nous avons aussi quantifié les particules en suspensions (poussière) déposé sur la surface foliaire des deux espèces.

Les analyses faite au laboratoire nous ont permis de quantifier tous les paramètres physiologiques et morphologiques d'*Acacia retinoides* et du *Nerium oleander*.

En effet, nous avons enregistré une variation spatiotemporelle pour chaque paramètre étudié, ceci à été confirmé par le test de l'analyse de la variance avec une différence très hautement significatif ( $P \leq 0.0001$ ), et l'utilisation du test e Newman et Keurls au seuil de 5%, à regroupé nos station par rapport à chaque paramètre en groupe homogène classée en ordre décroissant de la teneur.

Effectivement, la teneur en Chlorophylle totale est élevée en mois de juin et mai alors qu'en mois de septembre cette teneur reste faible. Certain auteurs (**Zid et Grignon, 1991 ; Singh et al., 1973., Tahri, 1998 cité par Benterouche.,2006**) pensent que les quantités accumulées de ce paramètre pourraient être liées au niveau de tolérance aux stress.

Par opposition, la teneur en proline et les sucres solubles pour les deux espèces (*Acacia retinoides* et *Nerium oleander*) ont marquées une accumulation très élevés durant les trois mois d'études et au niveau des six stations (Aller et retour). Rappelons que l'échantillonnage a été effectué durant les stades de développement des deux espèces (Floraison, Fructification et Maturation). Nous signalons aussi qu'il n y avait pas des signes de chlorose ou de nécrose en parcourant tout le site d'échantillonnage (aparts quelques individus considérés comme non représentative). Ce comportement d'indifférence aux contraintes environnementales des deux espèces confirme leur résistance aux conditions défavorables du milieu. En effet, **(Viégas et Gomes Da Silveira, 1999)** ont liée l'accumulation de la proline à l'inhibition de l'assimilation du CO<sub>2</sub> et à l'augmentation du catabolisme des protéines, et/ou une synthèse de nouveau de cet acide aminées. En ce qui concerne les sucres solubles, comparable à la teneur en proline, la plante tend à accumuler ce paramètre durant les stress environnementaux **(Jouve et al., 2004 cité par Dalaa.,2012)**. Ceci est enregistré chez *Acacia retinoides* et *Nerium oleander*.

Le rapport MF/MS reste plus ou moins stable au niveau des six stations durant les trois campagnes de prélèvement. Il indique une meilleurs tolérance des deux espèces donc elles gardent une quantité élevé en matière fraîche (MF). Ce rapport est toujours considéré comme un bon indicateur de l'état de l'environnement, il tend a se diminué lorsque le milieu est pollué et vis versa.

En ce qui concerne la surface foliaire des deux espèces échantillonnées, on a enregistré des valeurs élevées durant les trois campagnes de prélèvement. Ce paramètre est toujours lié aux conditions du milieu. La plante tend à réduire sa surface en état de stress environnementale, et dans notre cas ce paramètre indique une sorte de tolérance des deux espèces correspondant directement à la teneur élevée en chlorophylle.

La quantification de la poussière (matière en suspension), grâce à la méthode de Stenbock-Farmer (1978), a permis de faire une comparaison entre les deux solutions de lavage EDTA et Hcl. Cette technique a illustré le pouvoir important de fixation-rétention des poussières par *Acacia retinoides* et *Nerium oleander*. En effet, La quantité de poussière obtenue par l'EDTA est plus importante que celle de l'Hcl durant les trois campagnes de prélèvement au niveau des six stations d'échantillonnages.

L'analyse de la variance pour un facteur de classification montre une différence non significative pour ce paramètre durant les trois mois de prélèvements.

L'utilisation des feuilles des végétaux ligneux contribuent à la quantification de la pollution de l'air (particulaire) dans les centres urbains. Ils sont utilisés, non seulement pour l'observation des symptômes d'attaque qu'ils manifestent, mais encore comme collecteurs de poussière (**Ozenda., 1982 citée par Belhadj., 2011**). Effectivement, les deux espèces ont pu fixer de poussières dont la valeur maximale est de  $170\mu\text{g}/\text{cm}^2$  pour l'EDTA chez *Acacia retinoides* alors que pour l'HCl cette quantité ne dépasse pas  $20\mu\text{g}/\text{cm}^2$ . Chez *Nerium oleander* la quantité de poussière fixée est plus réduite que celle enregistrée chez *Acacia retinoides*, elle ne dépasse pas  $25\mu\text{g}/\text{cm}^2$  pour l'EDTA et  $10\mu\text{g}/\text{cm}^2$  pour l'HCl.

Pour compléter ce travail, nous avons essayé de voir si ces paramètres se corrélaient ou non entre eux durant les trois campagnes de prélèvements (mai, juin et septembre), pour cela on a utilisé l'Analyse en Composante Principale (ACP).

Effectivement, Cette analyse nous a permis de déduire qu'en mois de mai pour *Acacia retinoides*, la Pro et la SF sont fortement et positivement corrélés avec un coefficient de corrélation de 0.75, du même la ChIT et  $\text{PS}_{\text{EDTA}}$  se corrélaient fortement et positivement avec un coefficient de corrélation de 0.53. En ce qui concerne les  $\text{PS}_{\text{HCl}}$  nous remarquons qu'ils se corrélaient parfaitement avec la SF et la Pro où on a des coefficients de corrélations de 0.55 et 0.47 respectivement. Alors que  $\text{PS}_{\text{EDTA}}$  corréle négativement avec la SF de -0.52. En mois de juin, la ChIT se corréle très fortement et positivement avec les Suc Sob et la Pro avec un coefficient de corrélation de 0.64 et 0.62 respectivement. Alors qu'avec les  $\text{PS}_{\text{HCl}}$  nous enregistrant une corrélation négative de -0.41. Les Suc Sob se corrélaient positivement avec la SF avec un coefficient de corrélation de 0.48, et finalement le rapport MF/MS se corréle positivement avec les  $\text{PS}_{\text{EDTA}}$  où on enregistre un coefficient de corrélation de 0.58. Enfin en mois de septembre, les Suc Sob se corrélaient très positivement avec la Pro et SF avec un coefficient de corrélation de 0.55 et 0.51 respectivement. La ChIT se corréle positivement avec les  $\text{PS}_{\text{HCl}}$  avec un coefficient de corrélation de 0.41 alors qu'avec la SF on note une corrélation négative de -0.54. La Pro se corréle positivement avec les  $\text{PS}_{\text{HCl}}$  avec un coefficient de corrélation de 0.47.

Pour l'espèce *Nerium oleander*, l'ACP montre qu'en mois de mai la Pro se corréle positivement et très fortement avec  $\text{PS}_{\text{HCl}}$ , alors qu'elle se corréle très fortement mais négativement au rapport MF/MS avec un coefficient de corrélation de -0.52. Tout de même pour la SF qui se corréle positivement avec les  $\text{PS}_{\text{EDTA}}$  dont on a enregistré un coefficient de

corrélation de 0.49. Les Suc Sob se corrént négativement avec SF et les PS<sub>EDTA</sub> respectivement de -0.43 et -0.47. Alors qu'en mois juin on note une corrélation très hautement significative entre la ChIT et le rapport MF/MS avec un coefficient de corrélation de 0.69. Alors qu'avec les PS<sub>EDTA</sub>, la ChIT se corréle négativement, nous enregistrons un coefficient de corrélation de -0.53. Les Suc Sob se corrént négativement avec les PS<sub>EDTA</sub> avec un coefficient de corrélation de -0.58. En mois de septembre, les Suc Sob se corrént négativement avec le rapport MF/MS, alors qu'avec les PS<sub>EDTA</sub> ils se corrént positivement avec des coefficients de corrélations de -0.52 et 0.62 respectivement. La SF se corréle négativement avec le rapport MF/MS avec un coefficient de corrélation de -0.45.

Bien que ce travail a tenté de donner un aperçus sur l'état générale du milieu en ce qui concerne la pollution atmosphérique tout en se basant sur les critères physiologique et morphologique des deux espèces rendant compte de l'effet bénéfique de leur utilisation, plusieurs autres questions restent encore poser et nécessitent d'être approfondies à savoir :

- L'étude du compartiment sol pour en savoir plus sur l'état du milieu le long de l'autoroute Est-Ouest.
- L'étude du comportement d'autres espèces présente (en largeur) à distance plus grande à celle des proximités des autoroutes.
- Elargir la surface d'étude en impliquant d'autres tronçons et d'autre Willaya.

# PERSPECTIVES

## **Perspectives**

L'utilisation des végétaux et plus particulièrement les ligneux dans l'évaluation de la pollution atmosphérique était toujours une préoccupation de différents chercheurs. Cette pollution qui représente une altération de la qualité de l'air ayant plusieurs sources dont le trafic routier. L'Algérie est l'un des pays qui a encouragé ces recherches soit sur le plan scientifique ou sur le plan politique.

Notre travail a porté sur deux espèces pérenne représentatives de la région d'étude, qui sont *Acacia retinoides* et *Nerium oleander* vivant le long de l'autoroute Est Ouest et six stations ont été choisis pour cette étude. L'échantillonnage a été effectué en trois campagnes de prélèvement (mai, juin et septembre) durant les trois stades de développement des deux espèces.

L'utilisation des caractères physiologiques et morphologiques des végétaux pour l'évaluation de la pollution atmosphérique est très important, surtout sur le plan financier où ce moyen est moins couteux. Pour cette raison nous avons un ensemble de perspectives qui complètent ce travail dans les prochaines recherches.

- ▶ Elargir l'espace d'étude toute en impliquant d'autre région pourquoi pas d'autre wilaya.
- ▶ Il sera intéressant de prendre des zones de référence 100 % sans trafic routier pour que la comparaison des résultats nous porte plus d'information.
- ▶ Il est insuffisant de quantifier les particules en suspensions, pour cette raison, on propose de les doser chimiquement (métaux lourds) pour avoir une idée sur leurs source.
- ▶ chercher d'autres sources que l'autoroute Est-Ouest qui sont une source probable de particules en suspensions surtout que la région d'étude à connus plusieurs travaux en ce qui concerne les travaux de constructions immobilières et l'installation de nouveaux projets industrielles.
- ▶ Impliquer d'autres espèces végétales dans les prochaines études et étudier non seulement leurs feuilles mais aussi le reste de leur parties (écorces, fleurs, et fruits).

**RÉFÉRENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

A)

- **Abdessemed S.(2009)**. Comportement des semis du Cèdre de l'Atlas en conditions de stress thermique. Mémoire de Magistère. Université de Constantine, 112-140p.
- L'Agence européenne pour l'environnement (**AEE**). Registre français des émissions polluantes
- **Alioua A., Maizi N, Semadi F., Tahar A et Kahoul M .(2008)**. Détection et Etude de la Pollution Mercurielle à l'aide des Bioindicateurs Dans la Région de Azzaba (Algérie Orientale). European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.23 No.2 (2008), pp.187-196.
- **Alioua A.(2008)**. Détection de la pollution plombique d'origine automobile à l'aide de bioindicateurs végétaux dans l'agglomération de Skikda (Algérie). Thèse de Doctorat. Université JOSEPH FOURIER-Grenoble, 136p.
- **Amirat M, Maatoug M., Belkhoudja M, Hellal B.Taibi KH. (2008)**. Study of the Effect of Physical and Chemical Parameters of Agricultural Soil on Lead Concentrations. Arab Gulf Journal of Scientific Research, vol 26.
- **Amrani. N. (2007)**. Le droit de l'environnement et la mondialisation Mémoire de Master en droit privé et sciences criminelles.Academie de Montpellier. Université de Perpignan, 236p.
- **Amri.B.(2007)**. Pollutions et nuisances dans la ville de Constantine: effets et impacts sur l'environnement. Sciences & Technologie D – N°26, 21-30p.
- **Anonyme. (2001)**. (**Association pour la Surveillance et l'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace**). Etude diagnostique sur l'évaluation de la pollution par les particules fines et leurs constituants, intégrant les méthodes de bio-indication et de bio-accumulation en Alsace, ,91p.
- **Anonyme. (2004)**.Bio indication de la qualité de l'air dans la région du nord pas de calais, faculté de pharmacie.
- **Anonyme.(2005)**. Utilisation des bio-indicateurs pour la surveillance des émissions et des risques.
- **Anonyme.(2008)**. Les particules en suspensions, une pollution complexe, un dispositif d'information en évolution. Atmopaca (pollution de l'air)
- Anonyme.(2010)**. Particules sédimentables, Investigation dans les communes de Châteauneuf-les-Martigues/La Mède. Association pour la surveillance de la Qualité de l'Air de la région de l'Etang de Berre et de l'Ouest des Route de la vierge. AIRFOBEB.

• **Auclair.D. (1977).** Effets des poussières sur la photosynthèse II. Influence des polluants particuliers sur la photosynthèse du Pin sylvestre et du Peuplier. Station de Recherches sur la forêt et l'environnement. Centre de Recherches forestières d'Orléans, I.N.R.A.

**B)**

• **Babacar M.(1998).** La diffusion des métaux lourds autour du site des Chênevières (Genève. Visualisation des mesures sur la feuille de chêne. Ed Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP), 54p.

• **Bakkali H, Abadou M, Nassim S., Moussaoui A., Ennouhi A., Fouadi F Z., Siah S., et Ihrari H. (2010).** Chemical burns caused by the shrub *Nerium oleander*. Annals of Burns Fire and Disasters.

• **Bajji M., Kinet J.M et Lutts Stanley. (1998).** Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L. and their corresponding callus cultures. Plant Science. pp137, 131- 142.

• **Beauchamp J. (2005).** L'atmosphère. Université de Picardie Jules Verne.

• **Belhadj H., Benchaben H.,Ayad N., et Maatoug M. (2011).** Quantification de la pollution atmosphérique dans le milieu urbain de Sidi Bel'Abbes (Algerie Occidentale).

• **Bargagli R.(1998).** Trace elements in terrestrial plants, an Ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery, Springer, Berlin, 324p.

• **Belouahem D. (1993).** Détection de la pollution atmosphérique fluorée d'origine industrielle à l'aide de certaines espèces végétales bioaccumulatrices dans les régions d'Annaba et Taraf. Thèse de Magister. INA. 165p.

• **Benterrouche I. (2006).** Réponses écophysologiques d'essences forestières urbaines soumises à une fertilisation avec les boues d'épuration, 82-86p

• **Ben Rejeb K, Abdellyet C et Savouré A. (2012).** La proline, un acide aminé multifonctionnel impliqué dans l'adaptation des plantes aux contraintes environnementales. Biologie Aujourd'hui, volume 206, numéro 4.

• **Bergamaschi L., Rizzio E., Giaveri G., Loppi S. et Gallorini M. (2007).** Comparison between the accumulation capacity of four lichen species transplanted to a urban site, Environmental Pollution, 148, 468-476p.

• **Bouchoukh I. (2010).** Comportement écophysologique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin, 112p.

• **Boussabouaa K. (2010).** Etude des Emissions Polluantes et des Moyens de Dépollution dans les Moteurs à Combustion Interne. Thèse de Doctorat en Science de Génie Mécanique, 7-49p.

C)

- **Catinon M. (2010).** Détermination de la pollution atmosphérique métallique : étude critique de l'utilisation des écorces d'arbres. THÈSE de Doctorat de l'université de Grenoble 1, École Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement, 46, 48 -148. 206p Laboratoire d'écologie Alpine-UMR 5553.
- **Chen M, Schliep M, et Willows RD. (2010).** Structure de la chlorophylle a et b. 329, 1318-1319.
- **Cheikh M'hamed H, Abdellaoui R, Kadri K, Bennaceur M, Belhadj S. (2008).** Evaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge ( *Hordium vulgare* L) cultivée en Tunisie : Approche physiologique. Science et Technologie C- N°, 28, 30-37.
- **C P A (Connaitre pour agir).** Lichens et biosurveillance de la qualité de l'air.
- **Cuny D, Rzepka M-A et Bulteau G,** Quels rôles les plantes peuvent elles jouer vis à vis de la pollution à l'intérieur des locaux ? Air Pur n°69.
- **Cuny D. (2012).** Journée scientifique bi-académique Académie nationale de Pharmacie et Académie des Technologies « Qualité de l'air : de l'échelle locale à l'échelle planétaire. Compréhension – implications ».
- **Cuny D, Van Haluwyn C et Caron B. (2000).** La bioindication de l'ozone par le Tabac dans la région Nord–Pas de Calais. Air Pur n° 58.
- **Cuny D, Pignata M., Kranner I et Beckett R. (2002).** Biomarkers of pollution-induced oxidative stress and membrane damage in lichens in : Nimis PL, Scheidegger C, Wolseley PA. *Monitoring with lichens* Monitoring lichens. Kluwer, The Netherlands.

D)

- **David M. M., Coelho D., Bannote I., et Coreirra M. J. (1998).** Leaf age effects on photosynthetic activity and sugar accumulation in droughted and rewatered *Lupinus albus* plants. Aust J. Physiol, 25,299-3096.
- **Dellaa Y(2003).** Utilisation des végétaux dans l'approche écotoxicologique de la pollution atmosphérique de Constantine, Mémoire de Magister.44-49 ; 50 -57p.
- **Delauney AJ et Verma DPS. (1993).** Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. Plant J., 4, 215–223.
- **Dagnelie P. (1999).** Statistique théorique et appliquée. Tome2 : inférence statistique à une et à deux dimensions. Bruxelles-Université de Boeck et Larcier, 659p.

• **Derridj S, Arnault I, Nicholas A, Birch E, Elad Y, Lombarkia N, Couzi P, Pierre P et Auger J. (2011).** Les sucres solubles, une opportunité pour l'agriculture durable ?

Des expérimentations menées sur maïs, tomate, pomme de terre et pommier. La Défense des Végétaux N° 640.

• **DGAC. (2013).** Direction générale d'Aviation Civile (France). Pollution atmosphérique et aviation, 2003. Rapport réseau environnement.

• **Deletraz G et Paul E. (1998).**Etat de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes. ADEME.

• **Deletraz G. (2000).**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 de Doctorat en Géographie – Aménagement. Université de Pau et des Pays de l'Adour. Institut de recherche sur les sociétés et l'aménagement, 564p.

• **Desrosières A. (2003a),** « Les qualités des quantités », Courrier des statistiques, n°105-106 , 51-63p.

• **Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. and Smith F. (1956).** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry, 28, 350-356p.

• **Dubos C. (2001).** Réponse moléculaires de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de Doctorat de Henri Poincaré. Nancy- I en biologie forestière , 202p.

**E)**

• **Elichegaray C. (2008).** Pollution de l'air : Source, Effet, Prévention. Edition DUNOD. P ( 9,13,43,97 -101p).

• **El Yamani. M.( 2006).** Pollution Atmosphérique Urbaine. Environnement et milieux. Afsset, 2006.

• **Ernez M. Lannoye R. (1991).** Quantification des désordres photosynthétiques chez la plante stressée : aspects conceptuels et méthodologiques, L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris, 9-23.

**F)**

**Foan L M .(2012).** Biosurveillance des retombées atmosphériques à l'aide de bryophytes : Suivi des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à diverses échelles spatio-temporelles. These de Doctorat de l'Université de Toulous, option Sciences des Agroressources,54, 55, 56-320).

**G)**

- **Gallen V et Flatres S. (2008).** La fracture agricole, Sylvie Flatrès et Vincent Gallon, Éditions Delachaux et Niestlé, collection Changer d'ère. 272p.
- **Garrec J P. (2007).** L'expertise technique et scientifique de référence. Laboratoire Pollution atmosphérique INRA – Centre de recherche de Nancy.
- **Garrec J P. (2010).** Physiologie de la plante : Processus mis en jeu pour la capture et l'élimination des polluants. INRA Nancy, Laboratoire Pollution Atmosphérique. **ADEME** (Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie), journée technique pour l'épuration de l'air intérieur par les plantes « état des connaissances ».
- **Garrec J-P. et Van Haluwyn.C. (2002).** Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Tec &Doc (Ed.) Paris, 116-117p.
- **Garrec J-P, Shanq He, Rosé C et Radnai F. 2002.** La pollution atmosphérique sur Pékin Impact potentiel sur l'agriculture péri-urbaine. INRA, laboratoire Pollution atmosphérique
- **Guigon E M, Blanchard M, Teil, M-J, Desportes A, Bourges C, Alliot F et Chevreuil M. (2011).** Evaluation du platane comme bioindicateur de la contamination atmosphérique par les composés organiques semi volatils (COSV): PCB, HAP, PBDE, Parabènes, phtalates et BPA. EPHE, Laboratoire Hydrologie Environnement, UMR Sisyphe, UPMC .
- **Griffiths H. (2003).** Effets de la pollution atmosphérique sur les cultures agricoles. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales. Antario (Canada).
- **Goujon M. (2004).** « Connaître pour agir », publication de l'Agence régionale de l'environnement de Haute-Normandie. **AREHN.**
- **Gydesen H, Pilegaard K, Rasmussen L, Ruhling A. (1983).** Moss analysis used as a mean of surveying the atmospheric heavy-metal deposition in Sweden, Denmark and Greenland in 1980. Bull SNV PM 1983; 1670, 1-44.

**J)**

- **Jones K.C et De Voogt, P.(1999).** Persistent organic pollutants (POPs): state of the science. Environmental Pollution 100 (1-3), 209-221.
- **Journal officiel de la République Algérienne démocratique et populaire. (2006).** Lois sur la Pollution Atmosphérique N° 01, 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique.

**K)**

- **Kebiche M, Faycal A, Benabid C. (2001).** L'utilisation de la végétation comme bio-indicateur de la pollution fluorée dans la région de Sétif (Algérie).Université de Sétif (Algérie), Institut de

Biologie, Département d'Écologie et Environnement. Ann. Géo., n° 617, 2001, pages 90-101, © Armand Colin.

• **Künzli N et coll . (2000).**Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment.Lancet.

L)

• **Laïd Y, et al. (2011).** Effets sanitaires de la pollution atmosphérique urbaine par les poussières (PM10) en Algérie : cas de la ville d'Alger. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable.

• **La loi sur l'Air et sur l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE)** du 30 décembre 1996.

• **Lacour S. (2009).** Cours de pollution atmosphérique. Inventaires d'émissions .Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement Atmosphérique. CEREA: Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique, 34p.

• **Levigneron A, Lopez, Vansuyt G Berthomieu, Fourcroy P et Casse-Delbart F. (1995).** Les plantes face au stress salin. Cahier Agriculture, 4, 263-73.

• **Lin C-C., Chen S J., Huang K.-L. (2005).** Characteristics of metals in nano/ ultrafine/ fine/ coarse particules collected beside a heavily trafficked road. Environmental Science\_and Technology, 39, 8113-8122.

M)

• **Maatoug M., Hellal B., Dellal A., Ayad N. et Bourbattache M. (2007).** Détection de la pollution de l'air d'origine routière par certaines espèces végétales bioaccumulatrices de quelques métaux lourds (Pb, Zn, Cu). Revue pollution atmosphérique, 196, 385-394.

• **Malcolm, B., Malcolm, N.(2000).** Mosses and other bryophytes – An illustrated glossary.Micro-Optics Press, Micro-Optics Ltd., Nelson, New Zealand, 220p.

• **Maizi N. (2006).** Jumelage des bioindicateurs végétaux : Xanthoria parietina et Funaria hygrométrica au réseaux de surveillance et de contole de la qualité de l'air Sama Safia dans la région da Annaba. Mémoire de Magister. Université de Annaba, 176p.

• **Maizi N, Alioua A, Ali Tahar A, Semadi F, Fadel D. (2010).** Utilisation des végétaux inférieurs comme bio indicateurs de la pollution plombique d'origine automobile dans la région de Annaba (Algérie). J. Mater. Environ. Sci, 251-266.

- **Martin R-R., Naftel S-J., Macfie S-M., Jones K-W., Feng H., Trembley C.(2006).** High variability of the metal content of tree growth rings as measured by synchrotron micro x-ray fluorescence spectrometry. *X-Ray Spectrometry* , 35, 57-62.
  - **Markert B-A, Breure A-M et Zeichmeister H-G.(2003)** . Bioindicators & biomonitoring : principes, concepts, and applications. Elsevier. Amsterdam. 997p.
  - **Masclat P.(2005).** Pollution Atmosphérique : Causes, Conséquences, Solution, Perspectives. Edition ELIPSES,13,14, 22,28,35-213p.
  - **Meszáros E.** Chimie des aérosols ; composition et réactions chimiques; journée CITEPA du 8 novembre. (2000).
  - **Meyer S, Reeb C, Bosdeveix R. (2008).** Botanique, Biologie et Physiologie Végétales. 2<sup>ème</sup> édition. Maloine, 121, 377- 490p.
  - **Mouaici k. (2002).** Étude de quelques sources de polluants atmosphériques dans la région de Bejaia , Mémoire à l'université de Bejaia,
  - **Mouneyrac C.** IBEA cours d'Ecotoxicologie.
- N)**
- **Ngo C et Régent A. (2008).** Déchet, effluents et pollution : Impact sur l'environnement et la santé. 2<sup>ème</sup> édition .DUNOD, Paris. LIVRE PP ?
- O)**
- **Ozenda P. (1982).** Les végétaux dans la biosphère. Éditions Doin, Paris. 431p.
- P)**
- **Pfeiffer H et Estrup B. (1992)** -The use of single lichens species, *Hypogymnia physodes*, as an indicator of air quality in North Western ontario, the bryologist 95 (1), pp 38 - 41.
- Q)**
- **Quoc Bang Ho.( 2010).** Optimal Methodology to Generate Road Traffic Emissions for Air Quality Modeling: Application to Ho Chi Minh City. Thèse de Doctorat. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne .Suisse. Faculté Environnement Naturel Architectural et Construit. Laboratoire de Systèmes d'Information Géographique. Programme doctoral en environnement.
- R)**
- **Rahal F,** 2005. Gestion de la pollution atmosphérique à Oran. Le système ORANAIR », - mémoire de Magistère Juin 2005 Oran, 165p.
  - **Rahal F, Benharat N , Rahal DD , Baba Hamed FZ.(2009).** Influence du trafic routier sur la pollution atmosphérique dans la ville d'Oran, 153-156. Département d'architecture, Département de Chimie.

• **Rossini Oliva S, Valdés B et Mingorance M-D. (2007).** *Nerium oleander* as a means to monitor and minimize the effects of pollution, 380-383.

• **Rzepka. M-A et Cuny D.(2008).**Biosurveillance végétale et fongique des ETM atmosphériques , Air Pur N° 75 - Deuxième semestre .

S)

• **Sharma G K. (1987).** Plant cuticular complex in response to highway pollution. *The Science of the Total Environment*, 59, 303-307p.

• **Stenbock-Farmer K. (1978).** Mise au point de techniques de lavage de feuilles en vue d'estimer les dépôts de particules. *Bull. E.R.A.*, Bruxelles, 3, 63-75.

T)

• **Tahri E. H., Belabed A. et Sabki K. (1997-1998).** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de la proline et chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, no 21, 81-87.

• **Thripathi A.K. et Tripathi S. (1999).** Change in some physiological and biochemical characters in *Albizia lebbek* as bioindicateurs of heavy metal toxicity. *J. Environ. Biol.*, 20 ( 2): 93-98.

• **Tlili N, Zarrouk S, Boughediri L et Chaoui F. (2007).**Bioindication of Air Quality in the Annaba City (East of Algéria). Equipe de Palynologie. Laboratoire de Recherche en Biologie Végétale et Environnement. Faculté des Sciences. Université Baji Mokhtar Annaba

• **Tomasevic M., Vukmirovic Z., Rajsic S., Tasic M. et Stevanovic B. (2005).** Characterisation of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area, *Chemosphere* 61,753-760.

• **Troll W. et Lindsley G. (1955).** A photometric method for determination of proline *G. Biol. Chem.* 215, 655-660p.

V)

• **Van Haluwyn C.(2009).** Quelle place et quelles perspectives pour la biosurveillance végétale dans les études de la qualité de l'air en France ? *Air-pur N°77*

• **Vergriete Yet Labrecque M.( 2007).** Rôles des arbres et des plantes grimpantes en milieu urbain : revue de littérature et tentative d'extrapolation au contexte montréalais, janvier 2007. Conseil Régional de l'environnement de Montréal

W)

• **Walsh P.(2011).** Mesure des PCDD, des PCDF, des BPC et des HAP dans les aiguilles de conifères de la région de Mercier comme bio-indicateur de la qualité de l'air, p21.

- **Wegener J-W-M., Van Schaik M-J-M et Aiking H.(1992).** Active biomonitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons by means of mosses. *Environmental Pollution* 76 (1), 15-18.
- **Wittig R. (1993).** General aspects of biomonitoring heavy metals by plants. In: Markert B (ed) *Plants as biomonitors - Indicators for heavy metals in the terrestrial environment. VHC, Weinheim*, 3-27.

**z)**

- **Zinzindohoué P. (1997).** La Pollution de l'air en Afrique. La Pollution automobile. Éditions CIAE SOLIDARITÉ – DÉVELOPPEMENT. 26p.
- **Zhang C., Huang B., Piper J-D- A., Luo R.(2008).** Biomonitoring of atmospheric particulate matter using magnetic properties of *Salix matsudana* tree ring cores. *The Science of the Total Environment*, 393, 177-190.

**Sites internet:**

- <http://www.acnusa.fr/index.php/fr/la-pollution-de-l-air/surveillance-de-la-qualite-de-l-air/6651>. Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaire (source polluant).
- <http://www.irep.écologie.gouv.fr.fr/IREP/index.php>. Registre français des émissions polluantes. Agence européenne pour l'environnement, 2009
- Pollution automobile - [Encyclo-ecolo.com](http://www.encyclo-ecolo.com) - l'encyclopédie écologique.htm
- <http://www.who.int/home-page/index.fr.shtml> (OMS: Organisation Mondiale de la Santé)
- <http://www.Le-transport-routier-reste-la-plus-importante-source-de-pollution-de-l-air-en-Europe-notre-planete.info.htm>
- <http://europa.eu.int/comm/environment/air>
- <http://www.phytomania.com/laurier-rose.htm> (laurier rose).
- <http://www.Wikimedia.org>
- <http://www2.ademe.fr>
- <http://www.technique-ingenieur.fr> (Biostation de Garrec ,2011)

# **ANNEXES**

## Annexe 01 : Normes internationales des polluants atmosphériques

### Aperçu sur les normes des principaux polluants atmosphériques

Les polluants atmosphériques peuvent affecter les plantes et les écosystèmes à différents niveaux dans leur fonctionnement. On distinguera les effets directs, induits par une absorption du polluant par la plante ou un dépôt à sa surface et les effets indirects liés à une modification du milieu dans lequel la plante se développe, sol ou atmosphère. En outre, l'impact de la pollution sur le fonctionnement des écosystèmes est souvent localisé, mais peut concerner des grandes étendues à l'échelle régionale, voire continentale. Les échelles de temps concernées vont de l'épisode de pollution (quelques jours) jusqu'à des échelles pluriannuelles.

Le seuil de toxicité d'un polluant correspond à la concentration au-delà de laquelle on observe des effets néfastes sur la santé. L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) propose des valeurs guides dont l'élaboration repose sur un arbitrage purement scientifique. Elles ne sont souvent établies que pour des substances prises isolément et ne tiennent pas compte des effets additifs, synergiques ou antagonistes dus aux autres polluants, ce qui peut limiter leur efficacité en termes de protection. Ainsi, les seuils de la qualité de l'air fournissent une référence scientifique internationale afin de protéger la santé publique. En revanche, les normes de qualité de l'air sont adoptées par l'autorité politique. Réglementées, elles doivent être respectées. Elles prennent en compte, pour chaque type de polluant, sa concentration pendant un temps d'exposition.

Ainsi des concentrations ambiantes des principaux polluants atmosphériques utilisée en Europe( tableau 01).Alors que le tableau02 représente les normes utilisés en USA tout en tenant compte de la durée s'exposition qui s'exprime généralement en nombre d'heures ou de jours par an (Masclat., 2005).

**Tableau 01 : Concentration atmosphérique réglementé moyenne des polluants selon les normes européenne (Concentrations ambiantes en ppb)**

composé	Zone rural	Zone urbaine	Episode de pollution
CO	200ppb	1000 ppb	5000 ppb
SO <sub>2</sub>	1-3ppb	20 ppb	500 ppb
NO <sub>2</sub>	1-3 ppb	20 ppb	300 ppb
O <sub>3</sub>	10 ppb	100 ppb	200 ppb
COV	70 ppb	100 ppb	1000 ppb
Particule	5 $\mu\text{g.m}^{-3}$	variable	1500 ppb

**Tableau 02 : Concentration atmosphérique réglementé selon les normes en USA**

composé	Normes USA	
CO	9ppm en8h	Ou 35 ppm en 1h
SO <sub>2</sub>	30ppb annuel	Ou 150ppb en 24h
O <sub>3</sub>	120ppb en 1 h	-
NO <sub>3</sub>	50ppbannuel	-
NMHC	250ppb de 6h à 9h du matin	-
TSP (total suspended particul)	50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ annuel	Ou 250 $\mu\text{g.m}^{-3}$ sur 24 h

La réglementation européenne a fixé des valeurs limites pour les principaux polluants. Au niveau français, la loi sur l'air a obligé les collectivités à mettre en place des dispositifs de surveillance de la qualité de l'air, obligation étendue sur l'ensemble du territoire depuis le 1er janvier 2000. Ces dispositifs permettent de surveiller en temps réel les niveaux de pollution et de déclencher les mesures nécessaires afin d'y remédier (El yamani., 2006).

Tableau 03 : Normes Française de pollution atmosphérique

composé	Norme classique	Objectif de qualité
O <sub>3</sub>	180ug.m <sup>-3</sup> sur 1 h	110 ug.m <sup>-3</sup> sur 8 h
NO <sub>x</sub>	200 ug.m <sup>-3</sup> sur 1 h	135 ug.m <sup>-3</sup> sur 1 h
So <sub>2</sub>	300 ug.m <sup>-3</sup> sur 1 h	100 ug.m <sup>-3</sup> sur 24h
PM10	55 ug.m <sup>-3</sup> sur 24h	30 ug.m <sup>-3</sup> sur 1 an
Hydrocarbure totaux	70 ug.m <sup>-3</sup> sur	

Par ailleurs il existe des seuils d'information gradués (exprimés en ug.m<sup>-3</sup>) en fonction de la gravité de la situation qui sont des niveaux d'alerte suivants :

- **le niveau 1** correspond aux valeurs limites fixées par la réglementation européenne. A ce niveau, les services municipaux et préfectoraux sont mis en éveil.

- **le niveau 2** correspond au dépassement du seuil de 300 µg/m<sup>3</sup> pour le SO<sub>2</sub> et le NO<sub>2</sub>, et de 200 µg/m<sup>3</sup> pour l'ozone. Depuis 1995, les médias sont informés et des conseils sont diffusés aux populations fragiles.

- **le niveau 3** déclenche l'alerte maximum à partir de 600 µg/m<sup>3</sup> pour le SO<sub>2</sub> et le NO<sub>2</sub>, et de 300 µg/m<sup>3</sup> pour l'ozone. Pour les Polluants secondaire il existe des recommandations concernant leurs concentrations moyennes.

Tableau 04 : Concentration des polluants secondaires.

composé	Concentration en ppb
HNO <sub>3</sub>	0.02-50
PAN	0.05-70
HO NO	0.03-10
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15
NH <sub>3</sub>	0.02-100
H CHO	0.5-75
H COOH	20
CH <sub>3</sub> OH	40

<b>Annexe 02 : Lois de protection de l'environnement (Journal Officiel Algérien)</b>
--

► **La loi n° 83-03 du 05 février 1983 :**

Cette loi est relative à la protection de l'environnement, elle concerne principalement la protection des milieux récepteurs.

Lorsque les émissions dans l'atmosphère sont susceptibles de constituer une menace pour les personnes ou pour les biens, leurs auteurs doivent mettre en œuvre toutes dispositions utiles pour supprimer ou réduire leurs émissions polluantes (**Article n°34**).

Elle vise également les cas et conditions dans lesquels doit être interdite ou réglementée l'émission dans l'atmosphère de fumées, suies, poussières ou gaz toxiques, corrosifs, odorants ou radioactif.

► **Décret exécutif n°90-78 du 27 février 1990 :**

C'est un décret qui est relatif aux études d'impact sur l'environnement. La pollution atmosphérique est engendrée par :

\*Les unités industrielles qui en grande partie, sont vétustes et sont dépourvues d'équipement servant à minimiser les rejets dans l'atmosphère.

\*La combustion à l'air libre des déchets municipaux, dans les décharges non contrôlées

\*Le développement du parc automobile, associé à l'âge avancé d'une bonne partie des véhicules en circulation.

\*La répartition du parc automobile par tranche d'âge, a relevé que 62% des véhicules ont plus de 20 ans, en décembre 2005.

► **La loi 03-10 du 19 juillet 2003 :**

Elle est Relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Elle stipule : les immeubles, les établissements industriels, commerciaux, ou agricoles ainsi que, les véhicules ou autres objets mobiliers sont construits, exploités ou utilisés selon les exigences de protéger l'environnement, d'éviter et de réduire les pollutions atmosphériques.

► **Décret exécutif n°06-02 du 07 janvier 2006 :**

Il définissant les valeurs limites, les seuils d'alertes et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollutions atmosphériques.

Ce décret se repose sur la surveillance de la qualité de l'air, il concerne les substances suivantes (**Article n° 03**) : Le dioxyde d'azote ;

- ❖ Le dioxyde de soufre ;
- ❖ L'ozone ;
- ❖ Les particules fines en suspension.

La détermination des objectifs de qualité de l'air et des valeurs limites de pollution atmosphérique est fixée sur une base moyenne annuelle (**Article n° 05**). Ces valeurs limites sont fixées comme suit (**Article n° 6**) :

▪ **Dioxyde d'azote :**

- a) objectif de qualité : 135 micro grammes/Nm<sup>3</sup> ;
- b) valeur limite : 200 micro grammes/Nm<sup>3</sup> (centile 98).

▪ **Dioxyde de soufre :**

- a) objectif de qualité : 150 micro grammes/Nm<sup>3</sup> ;
- b) valeur limite: 350 micro grammes/Nm<sup>3</sup> (centile 99,9).

▪ **Ozone :**

a) objectif de qualité : 110 micro grammes/Nm<sup>3</sup> ;

b) valeur limite : 200 micro grammes/Nm<sup>3</sup>.

▪ **Particules fines en suspension :**

a) objectif de qualité : 50 micro grammes/Nm<sup>3</sup> ;

b) valeur limite : 80 micro grammes/Nm<sup>3</sup>.

Les seuils d'information et les seuils d'alerte sont fixés sur une base moyenne horaire, comme suit : (**Articles n° 07 et 08**)

▪ **Dioxyde d'azote :**

a) seuil d'information : 400 micro grammes/Nm<sup>3</sup> ;

b) seuil d'alerte : 600 micro grammes/Nm<sup>3</sup>.

▪ **Dioxyde de soufre :**

a) seuil d'information : 350 micro grammes/Nm<sup>3</sup> ;

b) seuil d'alerte : 600 micro grammes/Nm<sup>3</sup>.

▪ **Ozone :**

a) seuil d'information : 180 micro grammes/Nm<sup>3</sup> ;

b) seuil d'alerte : 360 micro grammes/Nm<sup>3</sup>.

▪ **Particules fines en suspension :**

Selon les caractéristiques physiques et chimiques des particules concernées. Les seuils d'alerte sont fixés, le cas échéant, par arrêté conjoint du ministre chargé de l'environnement et du ministre concerné par l'activité engendrant le type de particule considérée.

Lorsque les seuils d'information et les seuils d'alerte sont atteints ou risquent de l'être, les autorités (Wali) concernés prennent toutes les mesures visant à protéger la santé humaine et l'environnement ainsi que les mesures de réduction et/ou de restriction des activités polluantes (**Article n° 9**).

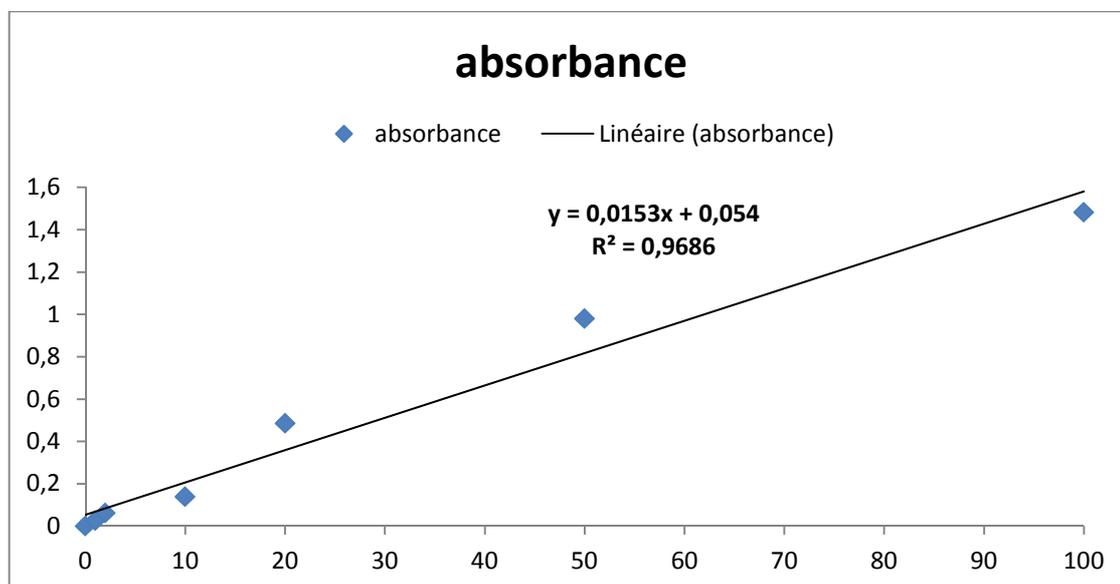
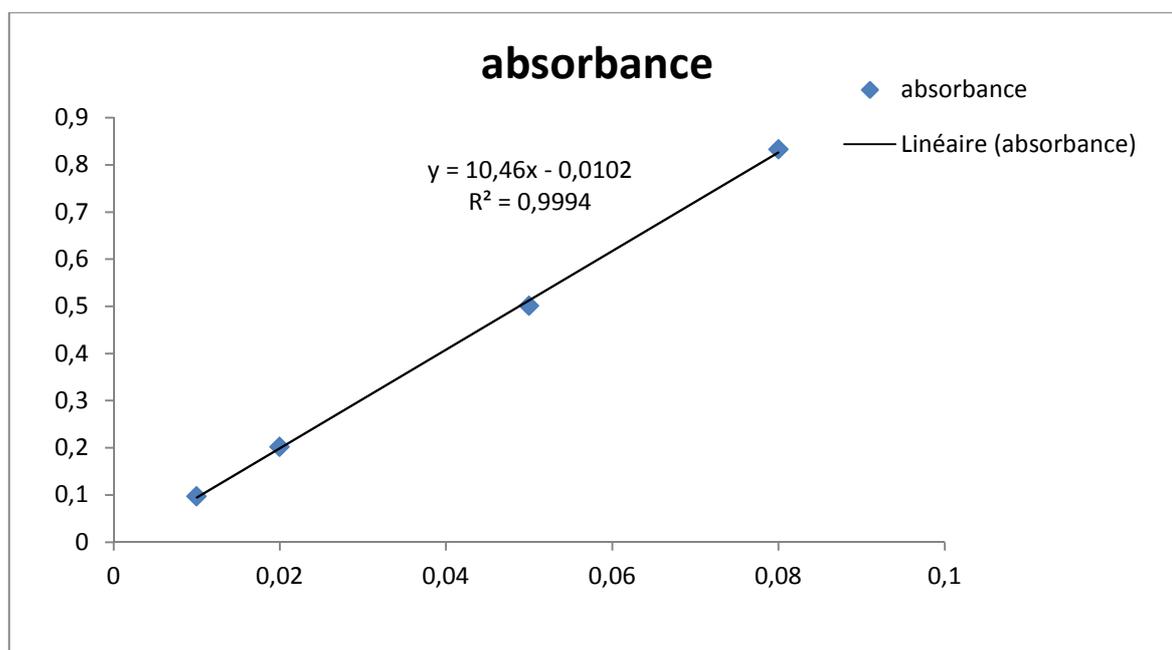
► **Décret exécutif n°06-138 du 15 avril 2006 :**

Il régleme l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumée, vapeurs, particules liquides ou solides ainsi, que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle.

Pris en application de la loi relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, le texte vise à préciser les seuils d'alerte à partir desquels doivent être déclenchées les mesures d'urgence visant à réduire les activités polluantes par les collectivités locales concernées, l'objectif étant de prévenir des situations où une exposition, même de courte durée, qui pourrait entraîner des effets négatifs sur l'homme ou sur l'environnement.

L'ensemble des réglementations a pour principales finalités :

- L'évaluation de l'exposition de la population et de la végétation à la pollution atmosphérique.
- L'évaluation des actions entreprises par les différentes autorités dans le but de limiter cette pollution.
- L'information sur la qualité de l'air.

**Annexe 03 : Courbes d'étalonnages****1. Courbe d'étalonnage de la Proline****2. Courbe d'étalonnage des sucres solubles**

## Annexe 04: Chlorophylles

1. *Acacia retinoides*

## \* Chlorophylle (a) :

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	21,359	4,272	112,746	< 0,0001
Erreur	5	0,189	0,038		
Total corrigé	10	21,549			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAC6	5,720	A
ASAC4	3,830	B
ZAC3	2,697	C
SAC2	2,645	C
MAC1	2,053	CD
THAC5	1,552	D

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	5,052	1,010	2,430	0,176
Erreur	5	2,079	0,416		
Total corrigé	10	7,131			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZRC3	4,425	A
MRC1	3,543	A
CHRC6	3,336	A
THRC5	2,753	A
SRC2	2,702	A
ASRC4	2,491	A

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	8,205	1,641	554,082	< 0,0001
Erreur	5	0,015	0,003		
Total corrigé	10	8,220			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MAC1	4,938	A
ZAC3	4,217	B
CHAC6	4,121	B
THAC5	3,778	C
ASAC4	3,161	D
SAC2	2,073	E

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	3151,255	630,251	2358,097	< 0,0001
Erreur	5	1,336	0,267		
Total corrigé	10	3152,591			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZRC3	43,427	A
THRC5	37,783	B
CHRC6	31,184	C
SRC2	6,210	D
ASRC4	3,570	E
MRC1	2,250	E

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0,317	0,063	126,682	< 0,0001
Erreur	5	0,003	0,001		
Total corrigé	10	0,320			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THAC5	1,290	A
SAC2	1,250	A
CHAC6	1,166	B
ZAC3	0,930	C
ASAC4	0,910	C
MAC1	0,847	C

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0,877	0,175	5,856	< 0,0001
Erreur	5	0,150	0,030		
Total corrigé	10	1,027			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHRC6	1,759	A
ASRC4	1,322	AB
MRC1	1,223	AB
ZRC3	1,185	AB
SRC2	1,108	AB
THRC5	0,863	B

## \* Chlorophylle (b) :

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	103,475	20,695	132,137	< 0,0001
Erreur	5	0,783	0,157		
Total corrigé	10	104,258			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASAC4	12,600	A
ZAC3	10,843	B
THAC5	8,724	C
SAC2	8,589	C
MAC1	6,474	D
CHAC6	3,268	E

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	275.623	55.125	60.421	< 0,000
Erreur	5	4.562	0.912		
Total corrigé	10	280.185			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZRC3	19.610	A
THRC5	9.915	B
MRC1	9.420	B
SRC2	8.250	B
ASRC4	7.922	B
CHRC6	3.835	C

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	302.741	60.548	14962.694	< 0,0001
Erreur	5	0,020	0,004		
Total corrigé	10	302.761			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAC6	19.899	A
THAC5	19.159	B
ZAC3	16.675	C
ASAC4	13.745	D
SAC2	7.232	E
MAC1	5.289	F

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	154.211	30.842	6968.214	< 0,0001
Erreur	5	0.022	0.004		
Total corrigé	10	154.233			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MRC1	13.765	A
ASRC4	12.192	B
SRC2	6.147	C
ZRC3	4.725	D
CHRC6	3.942	E
THRC5	3.502	F

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	12.543	2.509	544.696	< 0,0001
Erreur	5	12.566	0.005		
Total corrigé	10				

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SAC2	6.190	A
ZAC3	4.324	B
MAC1	4.202	BC
CHAC6	4.096	C
ASAC4	3.345	D
THAC5	2.953	E

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	14.692	2.938	1026.544	< 0,0001
Erreur	5	0.014	0.003		
Total corrigé	10	14.707			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHRC6	6.593	A
ZRC3	5.458	B
SRC2	5.036	C
MRC1	4.321	D
ASRC4	3.875	E
THRC5	3.165	F

## \* Chlorophylle totale :

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	80,586	16.117	50.213	< 0,000
Erreur	5	1.605	0.321		
Total corrigé	10	82.191			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASAC4	16,429	A
ZAC3	13,437	B
SAC2	11,233	C
THAC5	10,183	CD
CHAC6	8,987	D
MAC1	8,526	D

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	267.675	53.535	71.258	< 0,000
Erreur	5	3.756	0.751		
Total corrigé	10	271.432			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZRC3	24.603	A
THRC5	15.615	B
CHRC6	14.213	B
MRC1	12.454	BC
SRC2	10.952	C
ASRC4	10.414	C

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	352.039	70.408	19516.533	< 0,0001
Erreur	5	0.018	0.004		
Total corrigé	10	352.057			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAC6	24.020	A
THAC5	22.941	B
ZAC3	20.892	C
ASAC4	16.906	D
MAC1	10.227	E
SAC2	9.305	F

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	2177.587	435.517	2030.922	< 0,0001
Erreur	5	1.072	0.214		
Total corrigé	10	2178.659			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZRC3	48.153	A
THRC5	41.285	B
CHRC6	35.126	C
MRC1	15.992	D
ASRC4	15.802	D
SRC2	12.416	E

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	13.612	2.722	573.214	< 0,0001
Erreur	5	0.024	0.005		
Total corrigé	10	13.636			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SAC2	7.437	A
ZAC3	5.254	B
CHAC6	5.239	B
MAC1	5.048	B
ASAC4	4.256	C
THAC5	4.243	C

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	22.101	4.420	5748.982	< 0,0001
Erreur	5	0.004	0.001		
Total corrigé	10	22.105			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHRC6	8.311	A
ZRC3	6.700	B
SRC2	6.145	C
MRC1	5.636	D
ASRC4	4.864	E
THRC5	4.040	F

\*Chl a/Chl b :

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	3.405	0.681	6487.170	< 0,0001
Erreur	5	0.001	0.000		
Total corrigé	10	3.406			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAC6	1.706	A
MAC1	0.317	B
SAC2	0.314	B
ASAC4	0.304	B
ZAC3	0.239	C
THAC5	0.190	D

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	2.887	0.577	637.855	< 0,0001
Erreur	5	0.007	0.001		
Total corrigé	10	2.894			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAC6	1.622	A
SRC2	0.328	B
MRC1	0.322	B
ASAC4	0.314	B
ZAC3	0.293	B
THAC5	0.236	B

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0.454	0.091	5239.878	< 0,0001
Erreur	5	0.000	0.000		
Total corrigé	10	0.454			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MAC1	0.934	A
SAC2	0.287	B
ZAC3	0.253	C
ASAC4	0.230	D
CHAC6	0.207	E
THAC5	0.197	E

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	217.688	43.538	468.498	< 0,0001
Erreur	5	0.465	0.093		
Total corrigé	10	218.152			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THRC5	10.796	A
ZRC3	9.191	B
CHRC6	7.913	C
SRC2	1.013	D
ASRC4	0.292	D
MRC1	0.159	D

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0.076	0.015	91.635	< 0,0001
Erreur	5	0.001	0.000		
Total corrigé	10	0.076			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THAC5	0.437	A
CHAC6	0.269	B
ASAC4	0.266	B
ZAC3	0.215	C
SAC2	0.203	C
MAC1	0.202	C

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0.008	0.002	9.296	0.014
Erreur	5	0.001	0.000		
Total corrigé	10	0.009			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MRC1	0.300	A
THRC5	0.272	AB
CHRC6	0.267	AB
ASRC4	0.255	ABC
SRC2	0.225	BC
ZRC3	0.215	C

2. *Nerium oleander*

\*Chlorophylle (a)

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	15.687	3.137	0.675	0.661
Erreur	5	23.224	4.645		
Total corrigé	10	38.911			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SAL2	8.213	A
ASAL4	8.115	A
THAL5	7.381	A
ZAL3	5.992	A
MAL1	5.745	A
CHAL6	5.190	A

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	7.752	1.550	22.443	0.002
Erreur	5	0.345	0.069		
Total corrigé	10	8.097			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHRL6	3.593	A
THRL5	1.834	B
SRL2	1.419	B
ASRL4	1.365	B
ZRL3	1.333	B
MRL1	1.302	B

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	22.663	4.533	3432.773	< 0,0001
Erreur	5	0.007	0.001		
Total corrigé	10	22.669			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZAL3	4.210	A
CHAL6	3.614	B
THAL5	3.347	C
MAL1	1.129	D
SAL2	0.870	E
ASAL4	0.805	E

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	6.142	1.228	1.940	0.242
Erreur	5	3.167	0.633		
Total corrigé	10	9.309			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASRL4	4.089	A
ZRL3	3.652	A
SRL2	3.091	A
THRL5	2.665	A
CHRL6	2.467	A
MRL1	1.540	A

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	2.406	0.481	1301.422	< 0,0001
Erreur	5	0.002	0.000		
Total corrigé	10	2.408			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAL6	2.432	A
ZAL3	1.712	B
ASAL4	1.525	C
THAL5	1.235	D
SAL2	1.145	E
MAL1	1.031	F

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0.876	0.175	71.772	0.000
Erreur	5	0.012	0.002		
Total corrigé	10	0.888			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASRL4	1.733	A
THRL5	1.203	B
MRL1	1.171	B
SRL2	1.121	B
CHRL6	0.991	C
ZRL3	0.875	C

## \*Chlorophylle (b) :

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	23.765	4.753	1.135	0.447
Erreur	5	20.945	4.189		
Total corrigé	10	44.710			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SAL2	6.587	A
ASAL4	6.297	A
THAL5	5.494	A
ZAL3	5.056	A
MAL1	3.866	A
CHAL6	2.392	A

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	42.533	8.507	3.540	0.096
Erreur	5	12.013	2.403		
Total corrigé	10	54.546			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THRL5	7.189	A
SRL2	7.071	A
ZRL3	6.027	A
MRL1	4.362	A
ASRL4	3.358	A
CHRL6	2.125	A

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	288.159	57.632	75074.772	< 0,0001
Erreur	5	0.004	0.001		
Total corrigé	10	288.163			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAL6	18.465	A
ZAL3	13.873	B
THAL5	10.378	C
SAL2	8.641	D
MAL1	6.267	E
ASAL4	2.960	F

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	141.704	28.341	326.741	< 0,0001
Erreur	5	0.434	0.087		
Total corrigé	10	142.137			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHRL6	20.433	A
ASRL4	19.167	B
ZRL3	18.466	B
SRL2	14.921	C
THRL5	14.374	C
MRL1	7.846	D

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	8.450	1.690	221.073	< 0,0001
Erreur	5	0.038	0.008		
Total corrigé	10	8.488			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZAL3	6.646	A
SAL2	4.853	B
MAL1	4.785	B
CHAL6	4.416	C
THAL5	4.261	C
ASAL4	4.170	C

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	5.786	1.157	788.799	< 0,0001
Erreur	5	0.007	0.001		
Total corrigé	10	5.793			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MRL1	5.502	A
ASRL4	5.213	B
SRL2	4.819	C
THRL5	4.659	D
CHRL6	3.578	E
ZRL3	3.545	E

## \*Chlorophylle totale :

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	4.062	0.812	1.520	0.529
Erreur	5	2.673	0.535		
Total corrigé	10	6.735			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAL6	3.243	A
ZAL3	2.185	A
THAL5	1.887	A
MAL1	1.878	A
SAL2	1.626	A
ASAL4	1.442	A

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	45.196	9.039	3.154	0.117
Erreur	5	14.331	2.866		
Total corrigé	10	59.527			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THRL5	11.588	A
SRL2	7.491	A
ZRL3	7.360	A
ASRL4	6.493	A
CHRL6	5.717	A
MRL1	5.664	A

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	444.903	88.981	414571.094	< 0,0001
Erreur	5	0.001	0.000		
Total corrigé	10	444.905			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAL6	22.079	A
ZAL3	18.083	B
THAL5	13.726	C
SAL2	9.512	D
MAL1	7.396	E
ASAL4	3.733	F

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	184.268	36.854	144.641	< 0,0001
Erreur	5	1.274	0.255		
Total corrigé	10	185.542			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASRL4	23.222	A
CHRL6	22.900	A
ZRL3	22.141	A
SRL2	17.912	B
THRL5	17.019	B
MRL1	9.386	C

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	11.013	2.203	2241.386	< 0,0001
Erreur	5	0.005	0.001		
Total corrigé	10	11.018			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZAL3	8.266	A
CHAL6	6.848	B
SAL2	5.983	C
MAL1	5.844	D
THAL5	5.545	E
ASAL4	5.524	E

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	12.039	2.408	12264.560	< 0,0001
Erreur	5	0.001	0.000		
Total corrigé	10	12.040			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASRL4	7.248	A
MRL1	6.744	B
THRL5	6.057	C
SRL2	5.922	D
CHRL6	4.540	E
ZRL3	4.448	F

\*Chl (a)/Chl(b) :

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	3.357	0.671	6017.058	< 0,0001
Erreur	5	0.001	0.000		
Total corrigé	10	3.358			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAL6	1.666	A
ASAL4	0.288	B
MAL1	0.259	BC
THAL5	0.235	C
SAL2	0.224	C
ZAL3	0.185	D

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	3.742	0.748	971.038	< 0,0001
Erreur	5	0.004	0.001		
Total corrigé	10	3.745			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHRL6	1.734	A
ASRL4	0.306	B
MRL1	0.299	B
SRL2	0.234	B
ZRL3	0.207	B
THRL5	0.136	C

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0.070	0.014	756.401	< 0,0001
Erreur	5	0.000	0.000		
Total corrigé	10	0.070			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THAL5	0.323	A
ZAL3	0.303	B
ASAL4	0.273	C
CHAL6	0.195	D
MAL1	0.180	E
SAL2	0.101	F

## ► Retour -ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	4	0.011	0.003	1.632	0.384
Erreur	5	0.008	0.002		
Total corrigé	9	0.019			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASRL4	0.214	A
SRL2	0.207	A
ZRL3	0.197	A
MRL1	0.196	A
THRL5	0.185	A
CHRL6	0.122	A

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0.053	0.011	1.173	0.432
Erreur	5	0.045	0.009		
Total corrigé	10	0.098			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAL6	0.401	A
ASAL4	0.377	A
THAL5	0.287	A
ZAL3	0.252	A
SAL2	0.237	A
MAL1	0.214	A

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0.014	0.003	23.185	0.002
Erreur	5	0.001	0.000		
Total corrigé	10	0.015			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASRL4	0.326	A
THRL5	0.285	B
CHRL6	0.272	B
ZRL3	0.261	B
SRL2	0.229	C
MRL1	0.209	C

## Annexe 05: Proline

### 1. *Acacia retinoides*

#### 1. Mai

##### ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	1390.946	278.189	74,979	0.000
Erreur	5	18.551	3.710		
Total corrigé	10	1409.497			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SAC2	37,900	A
CHAC6	31,233	AB
MAC1	30,467	AB
ZAC3	28,800	B
THAC5	23,367	C
ASAC4	3,567	D

##### ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	2641.683	528.337	88.906	< 0,0001
Erreur	5	29.713	5.943		
Total corrigé	10	2671.396			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SRC2	59,267	A
THRC5	47,733	B
MRC1	30,733	C
ASRC4	27,567	C
ZRC3	20,767	D
CHRC6	17,500	D

#### b)- Juin

##### ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	2960.238	592.048	145,268	< 0,0001
Erreur	5	20.378	4.076		
Total corrigé	10	2980.616			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAC6	54,467	A
THAC5	32,633	B
SAC2	22,667	C
ZAC3	22,367	C
MAC1	10,267	D
ASAC4	4,133	D

##### ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	1886.445	377.289	82.234	< 0,0001
Erreur	5	22.940	4.588		
Total corrigé	10	1909.385			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHRC6	51,400	A
ZRC3	40,500	B
ASRC4	35,100	B
THRC5	33,800	B
MRC1	17,133	C
SRC2	12,567	C

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	3800.521	760.104	23111.275	< 0,0001
Erreur	5	0.164	0.033		
Total corrigé	10	3800.685			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASAC4	62.033	A
CHAC6	56.267	B
THAC5	55.300	C
SAC2	52.333	D
MAC1	22.333	E
ZAC3	12.333	F

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	2393.062	478.612	3973.720	< 0,0001
Erreur	5	0.602	0.120		
Total corrigé	10	2393.665			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THRC5	61.467	A
ZRC3	61.300	A
SRC2	60.200	B
ASRC4	56.100	C
CHRC6	33.900	D
MRC1	17.000	E

2. *Nerium oleander*

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	807.616	161.523	78.422	< 0,0001
Erreur	5	10.298	2.060		
Total corrigé	10	817.914			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MAL1	38.533	A
ZAL3	11.283	B
SAL2	9.467	B
CHAL6	9.100	B
ASAL4	8.333	B
THAL5	7.167	B

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	5032.865	1006.573	78.422	< 0,0001
Erreur	5	20.689	4.138		
Total corrigé	10	5053.554			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MRL1	62.000	A
ZRL3	45.433	B
SRL2	44.833	B
ASRL4	33.933	C
THRL5	2.600	D
CHRL6	1.983	D

**b)- Juin****► Aller****-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	4467.748	893.550	561.118	< 0,0001
Erreur	5	7.962	1.592		
Total corrigé	10	4475.710			

**-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THAL5	51.633	A
ZAL3	39.533	B
CHAL6	10.900	C
MAL1	5.467	D
ASAL4	1.900	D
SAL2	1.667	D

**► Retour****-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	1891.316	378.263	119.569	< 0,0001
Erreur	5	15.818	3.164		
Total corrigé	10	1907.134			

**-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MRL1	41.533	A
THRL5	33.533	B
CHRL6	32.233	B
ZRL3	22.033	C
SRL2	15.800	D
ASRL4	0.072	E

**c)- Septembre****► Aller****-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	4805.326	961.065	1109.490	< 0,0001
Erreur	5	4.331	0.866		
Total corrigé	10	4809.657			

**-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MAL1	55.733	A
THAL5	46.300	B
CHAL6	42.100	C
ASAL4	41.233	C
SAL2	2.633	D
ZAL3	1.967	D

**► Retour****-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	3847.732	769.546	220.965	< 0,0001
Erreur	5	17.413	3.483		
Total corrigé	10	3865.145			

**-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MRL1	51.933	A
ASRL4	48.533	A
CHRL6	44.967	A
ZRL3	44.433	A
THRL5	11.500	B
SRL2	5.300	C

## Annexe 06: Sucres solubles

1. *Acacia retinoides*

## a). Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	47.679	9.536	30,192	< 0,001
Erreur	5	1.579	0.316		
Total corrigé	10	49.258			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZAC3	8,652	A
THAC5	8,289	A
CHAC6	7,524	A
ASAC4	5,029	B
MAC1	3,652	B
SAC2	3,518	B

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	96.472	19.294	102.121	< 0,0001
Erreur	5	0.945	0.189		
Total corrigé	10	97.417			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THRC5	13,365	A
ASRC4	11,300	B
SRC2	9,426	C
CHRC6	9,178	C
ZRC3	5,679	D
MRC1	3,901	E

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	105.856	21.171	1844.246	< 0,0001
Erreur	5	0.057	0.011		
Total corrigé	10	105.913			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZAC3	12,925	A
CHAC6	9,226	B
ASAC4	8,757	C
THAC5	6,606	D
SAC2	4,493	E
MAC1	3,021	F

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	56.944	11.389	129.582	< 0,0001
Erreur	5	0.439	0.088		
Total corrigé	10	57.383			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZRC3	12.151	A
THRC5	11.157	B
SRC2	8.155	C
CHRC6	6.922	D
MRC1	6.769	D
ASRC4	6.415	D

**c)- Septembre****► Aller**

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	210.212	42.042	3820.532	< 0,0001
Erreur	5	0.055	0.011		
Total corrigé	10	210.267			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAC6	18.002	A
THAC5	12.543	B
MAC1	11.759	C
SAC2	9.331	D
ASAC4	6.730	E
ZAC3	5.182	F

**► Retour**

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	179.188	35.838	9517.115	< 0,0001
Erreur	5	0.019	0.004		
Total corrigé	10	179.207			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THRC5	17.677	A
ZRC3	14.207	B
ASRC4	12.170	C
CHRC6	8.184	D
SRC2	7.964	E
MRC1	5.143	F

**2. Nerium oleander****a)- Mai****► Aller**

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	481.243	96.249	7.275	0.024
Erreur	5	66.150	13.230		
Total corrigé	10	547.393			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASAL4	33.136	A
CHAL6	22.983	B
SAL2	17.323	B
ZAL3	17.055	B
MAL1	14.627	B
THAL5	14.532	B

**► Retour**

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	913.429	182.686	24.050	0.002
Erreur	5	37.980	7.596		
Total corrigé	10	951.409			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASRL4	36.061	A
SRL2	16.338	B
MRL1	14.168	B
THRL5	11.778	B
ZRL3	11.463	B
CHRL6	11.424	B

**b)- Juin****► Aller**

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	92.414	18.483	304.003	< 0,0001
Erreur	5	0.304	0.061		
Total corrigé	10	92.718			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MAL1	16.520	A
CHAL6	14.598	B
SAL2	12.639	C
THAL5	9.627	D
ASAL4	8.853	E
ZAL3	7.964	F

**► Retour**

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	194.548	38.910	2254.847	< 0,0001
Erreur	5	0.086	0.017		
Total corrigé	10	194.634			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHRL6	17.562	A
ZRL3	14.675	B
THRL5	11.157	C
ASRL4	9.159	D
SRL2	7.620	E
MRL1	3.748	F

**c)- Septembre****► Aller**

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	472.250	94.450	2401.007	< 0,0001
Erreur	5	0.197	0.039		
Total corrigé	10	472.447			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHAL6	33.059	A
ZAL3	28.356	B
SAL2	28.088	B
ASAL4	25.449	C
THAL5	21.090	D
MAL1	8.489	E

**► Retour**

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	251.522	50.304	982.136	< 0,0001
Erreur	5	0.256	0.051		
Total corrigé	10	251.778			

**-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MRL1	22.562	A
ZRL3	19.293	B
THRL5	15.315	C
SRL2	12.256	D
CHRL6	12.027	D
ASRL4	6.759	E

## Annexe 07: Rapport MF/MS

1. *Acacia retinoides*

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	1.607	0.321	7.993	0.020
Erreur	5	0.201	0.040		
Total corrigé	10	1.808			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZAC3	4.103	A
SAC2	3.678	AB
MAC1	3.316	AB
THAC5	3.181	B
CHAC6	3.133	B
ASAC4	3.066	B

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0.708	0.142	29.557	0.001
Erreur	5	0.024	0.005		
Total corrigé	10	0.732			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZRC3	3.576	A
MRC1	3.512	A
ASRC4	3.287	B
SRC2	3.122	B
THRC5	3.120	B
CHRC6	2.819	C

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0.610	0.122	15.642	0.005
Erreur	5	0.039	0.008		
Total corrigé	10	0.649			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASAC4	3.266	A
THAC5	3.145	AB
CHAC6	2.922	BC
SAC2	2.733	C
MAC1	2.693	C
ZAC3	2.649	C

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0.417	0.083	0.832	0.578
Erreur	5	0.501	0.100		
Total corrigé	10	0.918			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MRC1	3.097	A
ASRC4	2.723	A
THRC5	2.616	A
SRC2	2.574	A
CHRC6	2.549	A
ZRC3	2.341	A

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0.276	0.055	9.215	0.015
Erreur	5	0.030	0.006		
Total corrigé	10	0.306			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SAC2	2.911	A
THAC5	2.788	AB
CHAC6	2.697	ABC
ZAC3	2.614	BC
ASAC4	2.562	BC
MAC1	2.349	C

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	2.011	0.402	4.964	0.052
Erreur	5	0.405	0.081		
Total corrigé	10	2.416			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MRC1	3.493	A
ASRC4	3.224	A
CHRC6	3.077	A
THRC5	2.824	A
ZRC3	2.746	A
SRC2	2.078	A

2. *Nerium oleander*

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	3.373	0.675	23.783	0.002
Erreur	5	0.142	0.028		
Total corrigé	10	3.515			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THAL5	3.371	A
CHAL6	3.287	A
ZAL3	2.903	A
MAL1	2.181	B
ASAL4	2.114	B
SAL2	2.090	B

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	1.919	0.384	8.426	0.018
Erreur	5	0.228	0.046		
Total corrigé	10	2.147			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
CHRL6	3.321	A
THRL5	2.417	B
MRL1	2.329	B
SRL2	2.273	B
ZRL3	2.175	B
ASRL4	2.156	B

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0.465	0.093	9.954	0.012
Erreur	5	0.047	0.009		
Total corrigé	10	0.512			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZAL3	2.748	A
SAL2	2.550	A
CHAL6	2.535	A
THAL5	2.451	A
MAL1	2.303	AB
ASAL4	2.109	B

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	1.597	0.319	39.162	0.001
Erreur	5	0.041	0.008		
Total corrigé	10	1.638			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASRL4	3.334	A
CHRL6	2.953	B
THRL5	2.667	C
ZRL3	2.421	D
SRL2	2.354	D
MRL1	2.183	D

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	1.622	0.324	32811.456	0.0001
Erreur	5	0.000	0.000		
Total corrigé	10	1.622			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MAL1	3.065	A
ZAL3	2.878	B
THAL5	2.619	C
CHAL6	2.349	D
ASAL4	2.100	E
SAL2	1.922	F

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	2.475	0.495	66.781	0.000
Erreur	5	0.037	0.007		
Total corrigé	10	2.512			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASRL4	3.235	A
ZRL3	2.981	B
SRL2	2.897	B
THRL5	2.594	C
CHRL6	2.146	D
MRL1	1.681	E

## Annexe 08 : Surface Foliaire

1. *Acacia retinoides*

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	283.755	56.751	74.979	< 0,0001
Erreur	5	2.759	0.552		
Total corrigé	10	286.514			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SAC2	26.815	A
ZAC3	18.305	B
CHAC6	16.420	B
THAC5	13.860	C
MAC1	13.100	C
ASAC4	11.895	C

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	2127.804	425.561	509.532	< 0,0001
Erreur	5	4.176	0.835		
Total corrigé	10	2131.980			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SRC2	51.915	A
MRC1	30.150	B
ASRC4	24.630	C
THRC5	18.975	D
CHRC6	14.325	E
ZRC3	11.735	F

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	1350.204	270.041	509.532	< 0,0001
Erreur	5	1.865	0.373		
Total corrigé	10	1352.069			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZAC3	57.500	A
THAC5	42.240	B
CHAC6	30.605	C
SAC2	29.535	C
ASAC4	28.775	C
MAC1	25.700	D

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	441.053	88.211	396.756	< 0,0001
Erreur	5	1.112	0.222		
Total corrigé	10	442.165			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASRC4	42.995	A
ZRC3	39.020	B
CHRC6	31.180	C
SRC2	29.280	D
THRC5	28.210	D
MRC1	23.570	E

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	605.179	121.036	266.863	< 0,0001
Erreur	5				
Total corrigé	10	2.268	0.454		
		607.447			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THAC5	47.890	A
ZAC3	38.840	B
CHAC6	37.215	B
ASAC4	28.955	C
MAC1	27.720	C
SAC2	27.625	C

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	656.776	131.355	329.178	< 0,0001
Erreur	5	1.995	0.399		
Total corrigé	10	658.771			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THRC5	43.785	A
ASRC4	35.885	B
CHRC6	29.375	C
ZRC3	27.235	D
SRC2	22.770	E
MRC1	20.340	F

## 2. Nerium oleander

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	251.927	50.385	233.417	< 0,0001
Erreur	5	1.079	0.216		
Total corrigé	10	253.006			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
THAL5	24.155	A
CHAL6	16.810	B
MAL1	14.590	C
SAL2	14.500	C
ASAL4	10.775	D
ZAL3	10.410	D

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	279.884	55.977	328.195	< 0,0001
Erreur	5				
Total corrigé	10	0.853	0.171		
		280.737			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ZRL3	27.735	A
THRL5	16.985	B
CHRL6	16.800	B
MRL1	15.880	B
ASRL4	13.625	C
SRL2	13.245	C

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	171.211	34.242	144.903	< 0,0001
Erreur	5	1.182	0.236		
Total corrigé	10	172.392			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASAL4	26.205	A
THAL5	24.490	B
MAL1	20.650	C
ZAL3	18.280	D
SAL2	16.485	E
CHAL6	16.485	E

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	636.366	127.273	403.044	< 0,0001
Erreur	5	1.579	0.316		
Total corrigé	10	637.945			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SRL2	36.090	A
CHRL6	30.535	B
ASRL4	23.120	C
MRL1	21.440	C
ZRL3	17.475	D
THRL5	14.900	E

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	2559.198	511.840	1359.107	< 0,0001
Erreur	5	1.883	0.377		
Total corrigé	10	2561.081			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
ASAL4	54.435	A
SAL2	18.445	B
CHAL6	17.360	BC
MAL1	15.610	CD
THAL5	15.165	D
ZAL3	10.695	E

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	424.670	84.934	5119.592	< 0,0001
Erreur	5	0.083	0.017		
Total corrigé	10	424.753			

-Test de Newman et Keuls au seuil de 5%

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
MRL1	30.110	A
ASRL4	27.650	B
CHRL6	23.755	C
THRL5	15.415	D
SRL2	14.300	E
ZRL3	14.075	E

## Annexe 09 : Matière en Suspension

### \*Traitement par l'EDTA

#### 1. *Acacia retinoides*

##### a)- Mai

###### ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	4	0.006	0.001	0.282	0.867
Erreur	1	0.005	0.005		
Total corrigé	5	0.011			

###### ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.015	0.005	38.516	0.118
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.015			

##### b)- Juin

###### ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.004	0.001	0.467	0.760
Erreur	1	0.003	0.003		
Total corrigé	4	0.007			

###### ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.005	0.002	0.716	0.678
Erreur	1	0.003	0.003		
Total corrigé	4	0.008			

##### c)- Septembre

###### ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0	0.000	0.731	0.673
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

###### ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.001	0.000	0.360	0.806
Erreur	1	0.001	0.001		
Total corrigé	4	0.001			

#### 2. *Nerium oleander*

##### a)- Mai

###### ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	4	0.001	0.000	0.963	0.634
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	5	0.001			

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.002	0.001	2.091	0.461
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.002			

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	0.000	7.067	0.268
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	0.000	7.577	0.260
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	0.000	0.107	0.945
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	0.000	10.393	0.223
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

## \*Traitement par l' Hcl

1. *Acacia retinoides*

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	4	0.000	0.000	0.186	0.919
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	5	0.000			

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	0.000	0.197	0.890
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	0.000	0.816	0.651
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	0.000	60.615	0.094
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAC1 ; SAC2 ; ZAC3 ; ASAC4 ; THAC5 ; CHAC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	0.000	0.430	0.775
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRC1 ; SRC2 ; ZRC3 ; ASRC4 ; THRC5 ; CHRC6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	0.000	1.950	0.474
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

2. *Nerium oleander*

## a)- Mai

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	0.000	49.800	0.104
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	55.977	85.533	0.079
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

## b)- Juin

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	0.000	0.055	0.976
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	0.000	0.533	0.736
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

## c)- Septembre

## ► Aller

-ANOVA à un facteur contrôlé : MAL1 ; SAL2 ; ZAL3 ; ASAL4 ; THAL5 ; CHAL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.001	0.000	2125.630	0.016
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.001			

## ► Retour

-ANOVA à un facteur contrôlé : MRL1 ; SRL2 ; ZRL3 ; ASRL4 ; THRL5 ; CHRL6

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.000	0.000	0.146	0.921
Erreur	1	0.000	0.000		
Total corrigé	4	0.000			

**Annexe 10 : Présentation des stations en codes pour les deux espèces  
étudiés**

● ***Acacia retinoides***

Compagne	Stations	Numéro	Compagne	Stations	Numéro	Compagne	Stations	Numéro
MAI	MAC1	1	JUN	MAC1	25	SEPTEMBRE	MAC1	49
	MAC1	2		MAC1	26		MAC1	50
	SAC2	3		SAC2	27		SAC2	51
	SAC2	4		SAC2	28		SAC2	52
	ZAC3	5		ZAC3	29		ZAC3	53
	ZAC3	6		ZAC3	30		ZAC3	54
	ASAC4	7		ASAC4	31		ASAC4	55
	ASAC4	8		ASAC4	32		ASAC4	56
	THAC5	9		THAC5	33		THAC5	57
	THAC5	10		THAC5	34		THAC5	58
	CHAC6	11		CHAC6	35		CHAC6	59
	CHAC6	12		CHAC6	36		CHAC6	60
	MRC1	13		MRC1	37		MRC1	61
	MRC1	14		MRC1	38		MRC1	62
	SRC2	15		SRC2	39		SRC2	63
	SRC2	16		SRC2	40		SRC2	64
	ZRC3	17		ZRC3	41		ZRC3	65
	ZRC3	18		ZRC3	42		ZRC3	66
	ASRC4	19		ASRC4	43		ASRC4	67
	ASRC4	20		ASRC4	44		ASRC4	68
	THRC5	21		THRC5	45		THRC5	69
	THRC5	22		THRC5	46		THRC5	70
	CHRC6	23		CHRC6	47		CHRC6	71
	CHRC6	24		CHRC6	48		CHRC6	72

● ***Nerium oleander***

Compagne	Stations	Numéro	Compagne	Stations	Numéro	Compagne	Stations	Numéro
MAI	MAL1	1	JUN	MAL1	25	SEPTEMBRE	MAL1	49
	MAL1	2		MAL1	26		MAL1	50
	SAL2	3		SAL2	27		SAL2	51
	SAL2	4		SAL2	28		SAL2	52
	ZAL3	5		ZAL3	29		ZAL3	53
	ZAL3	6		ZAL3	30		ZAL3	54
	ASAL4	7		ASAL4	31		ASAL4	55
	ASAL4	8		ASAL4	32		ASAL4	56
	THAL5	9		THAL5	33		THAL5	57
	THAL5	10		THAL5	34		THAL5	58
	CHAL6	11		CHAL6	35		CHAL6	59
	CHAL6	12		CHAL6	36		CHAL6	60
	MRL1	13		MRL1	37		MRL1	61
	MRL1	14		MRL1	38		MRL1	62
	SRL2	15		SRL2	39		SRL2	63
	SRL2	16		SRL2	40		SRL2	64
	ZRL3	17		ZRL3	41		ZRL3	65
	ZRL3	18		ZRL3	42		ZRL3	66
	ASRL4	19		ASRL4	43		ASRL4	67
	ASRL4	20		ASRL4	44		ASRL4	68
	THRL5	21		THRL5	45		THRL5	69
	THRL5	22		THRL5	46		THRL5	70
	CHRL6	23		CHRL6	47		CHRL6	71
	CHRL6	24		CHRL6	48		CHRL6	72