

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université Ferhat Abbas-Sétif  
Faculté des Sciences de la nature  
et de la vie

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
جامعة فرحات عباس سطيف  
كلية علوم الطبيعة و الحياة



## THÈSE

Présentée par : TEDJAR LAMRI

Pour obtenir le diplôme de **Doctorat en Sciences**

du Département de Biologie et Physiologie Animale :

Option Biologie Animale.

## THÈME

**Impact des rejets (unités industrielles : cimenterie et BCR) sur  
l'environnement dans la région d'Ain EL Kebira (Sétif)**

Soutenu le 04/10//2012

## JURY

Président : **Bounechada Mustapha** MCA Dép Biologie, Fac. SNV, UFA Sétif

Rapporteur : **Kaabeche Mohamed** Prof Dép Biologie, Fac. SNV, UFA Sétif.

Examineur : **Lamari Malik** Prof ISNVA Batna.

Examineur : **Si Bachir Abdelkrim** Prof Dép Biologie, Fac .SNV, UHL Batna

Année universitaire 2011/2012

## *Dédicaces*

*Avant tout Dieu merci*

*À la mémoire de mes parents*

*Ce travail de longue haleine est dédié à mes défunts parents*

*Que Dieu tout puissant, puisse assurer le repos de vos âmes par sa sainte miséricorde.*

*A toute ma grande famille qu'elle trouve ici toute ma gratitude et que dieu la protège*

*A mes amis*

*A tous les écologistes qui combattent pour protéger notre patrimoine naturel*

***«Tout est poison, rien n'est poison, c'est la dose qui fait le poison»***

## *Remerciements*

*Je tiens à remercier DIEU tout puissant pour la volonté qu'il m'a donné afin d'achever ce travail si pénible et de longue haleine.*

*En de telle circonstances, nous devons d'abord nous soumettre à la grâce et la volonté de Dieu sans laquelle notre contribution n'aura jamais vu le jour.*

*Une contribution rendue possible grâce à la précieuse assistance de notre père et aîné le **Professeur MOHAMED KAABECHE** notre promoteur dont les conseils et la disponibilité ont été déterminants, malgré ses charges pédagogiques et scientifiques.*

*Je tiens à remercier du fond du cœur l'honorable jury présidé par **Dr Bounechada Mustapha** et assisté par les **Professeurs Si Bachir Abdelkrim et Lamari Malik** qui ont bien accepté de juger, de débattre, d'enrichir et d'évaluer ce modeste travail.*

*Mes vifs remerciements au personnel de notre faculté et celui de la faculté de médecine, au laboratoire de granulométrie de la cimenterie de Chleff, au laboratoire d'analyses de l'ENPEC de Sétif, au laboratoire de la cimenterie d'Ain EL Kebira et aux riverains de la zone industrielle en particulier ami Saad et son fils Laid.*

*Tous mes remerciements vont également à mes amis de la faculté de biologie : Nacer, Mustapha, Saddek, Fateh, Mohamed, Abderrahmane, Seddik et Smail.*

*A tous mes amis et proches qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail et qu'ils trouvent ici toute ma gratitude*

*Lamri.T*

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>A.D.E.</b>	Algérienne des eaux.
<b>AFED</b>	Arab Forum for Environment and Development
<b>CE</b>	Communauté européenne
<b>CHU</b>	Centre Hospitalo-universitaire
<b>CMS</b>	Centre météorologique de Sétif
<b>CO<sub>2</sub></b>	dioxyde de carbone
<b>CPJ</b>	Ciments portland aux ajouts
<b>CRS</b>	Ciment résistant aux sulfates
<b>EDTA</b>	éthyle diamine tétra acétique
<b>ENPEC</b>	Entreprise Nationale des Produits Electrochimiques.
<b>ERCE</b>	Entreprise des Ciments et dérivés de l'Est
<b>ETM</b>	éléments traces métalliques
<b>MES</b>	Matières en suspension
<b>NTU</b>	Nephelometric Turbidity Unit
<b>OMS</b>	Organisation mondiale de la santé
<b>O.T.I</b>	Officina Technica de Empresase Ingéniera
<b>pH</b>	potentiel hydrogène
<b>PM</b>	particules metter
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	diamètre aérodynamique des particules metters inférieur à 2,5 µm),
<b>PM<sub>10</sub></b>	diamètre aérodynamique des particules metters inférieur à 10 µm),
<b>SAA</b>	Spectrométrie d'Absorption Atomique.
<b>Saniak</b>	BCR (fabrique la robinetterie : mélangeurs, mitigeurs, robinetterie)
<b>SAU</b>	superficie agricole utile
<b>SCAEK</b>	Société des ciments d'Ain El Kebira
<b>SO<sub>2</sub></b>	dioxyde de soufre.
<b>TUA</b>	terres utilisées par l'agriculture

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAP I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>5</b>
I.1- Généralités sur la pollution : .....	5
I.2- Pollution de l'air .....	8
I.2.1- Influence des facteurs météorologiques dans la dispersion des polluants.....	10
I.3- Pollution de la flore .....	11
I.3.1- Le dioxyde de soufre .....	13
I.3.2- Les composés fluorés.....	13
I.3.3- Les oxydants photochimiques.....	13
I.4- Pollution du sol .....	15
I.5 - Pollution hydrique.....	17
I-5-1 Cycle de l'eau .....	19
I.5.2- Caractères généraux de l'eau.....	20
I.5.3-Pollution des eaux de surface.....	20
I.5.4- Pollution des eaux souterraines .....	23
I.6 - Corrélation pollution- sante humaine.....	24
I.7- Caractéristiques de la cimenterie d'Ain El Kebira .....	25
I.7.1- Produits fabriqués.....	25
I.7.2- Processus de fabrication du ciment.....	25
I.8- Identification des principales sources d'émission .....	27
I.8.1- Sources de poussières .....	28
I.9- Présentation de l'unité Saniak .....	29
<b>CHAPITRE II : ZONE D'ETUDE.....</b>	<b>30</b>
II.1- Identification et Situation géographique.....	30
II.1.1- Présentation de la cimenterie d'Ain El Kebira .....	30
II.2- Le cadre climatique.....	32
II.2.1- Le régime pluviométrique.....	32
II.2.2- La neige- la gelée .....	33
II.2.3- Température.....	33
II.2.4- Le vent .....	33
II.3- Synthèse bioclimatique .....	34
II.3.1- Quotient pluviométrique d'Emberger : .....	34
II.3.2- Diagramme ombrothermique.....	35
II.4- Réseaux hydrographiques.....	36
II.5- Pédologie.....	36
II.5.1-Les sols .....	36
II.5.2- Stratigraphie de la région du Djebel Medjounès.....	38
II.5.3- Le milieu agricole.....	40
II.5.4 -Le couvert forestier.....	40
<b>CHAP III -MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>41</b>
III.1- Choix des stations d'échantillonnage .....	41
III.1.1- Analyses des poussières .....	41
III.1.2- Reboisement d'EL Guettar .....	42
III.1.3- Analyse du Sol .....	43

III.1.4- Analyse des eaux.....	44
III.1.5- Station nouveau-nés.....	47
III.2- Matériels et Méthodes.....	48
III.2.1- L'analyse des poussières du ciment au rayon Laser.....	48
III.2.2 Analyse des métaux lourds dans le pin d'Alep.....	52
III.2.3- Analyse du sol .....	55
III.2.4- Analyse des eaux superficielles oued Ezzatine.....	57
III.2.5- Analyse des eaux souterraines.....	60
III.6- Pollution et nouveau-nés .....	63
<b>CHAPITRE IV : RESULTATS &amp; DISCUSSION.....</b>	<b>64</b>
IV.1- Pollution particulaire par les poussières du ciment .....	64
IV.1.1- La composition minéralogique des poussières de la carrière au.....	64
produit fini avant l'installation du filtre à manche.....	64
IV.1.2-Quantité de poussières déposées et composition minéralogique dans les jauges Owen.....	65
IV.1.3- Diamètre des particules.....	67
IV.1.4- Analyse des métaux lourds dans les poussières.....	68
IV.1.5- Composition minéralogique des poussières après l'installation du filtre à manche.....	69
IV.2- Impact des rejets de poussières sur le reboisement d'EL Guettar ( <i>Pinus halepensis</i> Mill).....	70
IV.2.1-Le pH du sol.....	70
IV.2.2-La conductivité électrique et salinité du sol.....	71
IV.2.3-Analyse des métaux lourds dans le pin d'Alep.....	72
IV.3- Analyses des retombées particulaires du ciment sur le sol .....	75
IV.3.1- Le potentiel hydrogène (pH) du sol.....	75
IV.3.2- La température du sol .....	76
IV.3.3- La conductivité électrique du sol .....	76
IV.3.4- Humidité relative du sol.....	77
IV.3.5- Les métaux lourds.....	79
IV.4- Eaux superficielles oued Ezzatine .....	83
IV.4.2- Le pH.....	83
IV.4.3- La conductivité .....	83
IV.4.4- Les matières en suspension .....	84
IV.4.5- Les métaux lourds.....	84
IV.5- Eaux souterraines.....	88
IV.5.1- La dureté .....	89
IV.5.2- La conductivité .....	89
IV.5.3- Le pH .....	89
IV.5.4- La température.....	89
IV.5.5- La turbidité.....	90
IV.5.6- Les nitrates et les nitrites.....	90
IV.5.7-Les chlorures.....	90
IV.5.8-Les Métaux lourds.....	92
IV.6- Exposition aux poussières du ciment et nouveaux nés.....	95
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>101</b>
<b>RECOMMANDATIONS &amp; PERSPECTIVES .....</b>	<b>103</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>104</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Source des principales substances naturelles émises dans l’atmosphère .....	7
Tableau 2 : Source des différents minéraux et composition minéralogique du ciment .....	29
Tableau 3 : Quantité de poussières déposées au niveau des jauges avant l’installation du filtre à manche.....	66
Tableau 4 : Teneur de composés minéralogiques au niveau des Jauges Owen .....	66
Tableau 5 : Concentration du Pb et Fe (mg/l) dans les feuilles, Cône, Ecorce de pin d’Alep .....	73
Tableau 6 : Concentration du Cu et Zn (mg/l) dans les feuilles, Cône, Ecorce de pin d’Alep.....	74
Tableau 7 : Caractères physicochimiques du sol.....	76
Tableau 8 : Caractères physicochimiques du sol.....	78
Tableau 9 : Evaluation du pH et de la conductivité du sol à différentes profondeurs (20,40 et 80 cm).....	79
Tableau 10 : Quantités Cd et Pb (2007).....	81
Tableau 11 : Quantités de Cd et Pb (2008).....	82
Tableau 12 : Variation des oxydes des métaux dans le sol à des profondeurs différentes (2008).....	82
Tableau 13 : Analyses physico-chimique et métaux lourds des eaux d’Oued Ezzatine(2007).....	87
Tableau 14 : Analyses physico-chimique et métaux lourds des eaux d’Oued Ezzatine(2008).....	87
Tableau 15 : Analyses physico-chimique et métaux lourds des eaux d’Oued Ezzatine(2009) .....	88
Tableau 16 : Analyse des caractères physico-chimiques des eaux souterraines.....	91
Tableau -17. Analyse physico-chimiques des eaux souterraines.....	91
Tableau -18 Analyse des concentrations des métaux lourds (mg/l) dans les eaux souterraines durant la 1 <sup>ère</sup> phase dans les 06 stations.....	94
Tableau -19 : Valeurs moyennes des métaux lourds durant la 2 <sup>ème</sup> phase pour les 04 stations .....	94
Tableau 20 : Analyse factorielle des composantes principales en fonction des corrélations observées .....	99
Tableau 21 : Moyennes et écarts-types des variables poids, taille et PC.....	99

# LISTE DES FIGURES

	7
Figure 1 : Émission, transformation et dépôts de polluants.....	
Figure 2 : Cycle d'eau source .....	19
Figure 3 : Processus de fabrication de ciment.....	27
Figure 4 : Carte de la région de Sétif.....	31
Figure 4' : Carte de la région de Sétif .....	31
Figure 5 : Quantité de précipitations en mm à Ain El Kébira.....	32
Figure 6 : Le pourcentage d'humidité à Ain El Kébira .....	32
Figure 7 : La température en °C à Ain El Kebira .....	33
Figure 8 : La vitesse du vent à Ain El Kébira .....	34
Figure 9 : Climmagrame d'Emberger .....	35
Figure 10: Diagramme ombrothermique de le région d'Ain E L Kebira.....	36
Figure 11: Carte géologique de la région d'Ain El Kebira et Djebel Medjounès .....	38
Figure 12: Stations d'échantillonnage inhérentes aux poussières émises par la cimenterie.....	42
Figure 13: Stations d'échantillonnages reboisement EL Guettar .....	43
Figure 14: Stations d'échantillonnage du sol.....	44
Figure 15: Carte représentant les stations d'étude des eaux souterraines .....	45
Figure 16: Carte représentant les stations d'étude des eaux souterraines.....	46
Figure 17: Représentation des stations d'étude .....	47
Figure 18: La jauge de dépôt selon les normes AFNOR (NF X 43-006) .....	48
Figure 19: Principe de la granulométrie à rayon laser.....	51
Figure 20: Teneur des Composés minéralogiques des différents types de poussières recueillies de la carrière au ciment avant l'installation du filtre.....	65
Figure 21: Diamètre moyen en microns des particules de poussières recueillies au niveau des jauges dans les différentes stations.....	68
Figure 22: Teneur en métaux lourds des différents types de poussières recueillies au niveau de la chaine de production .....	69
Figure 23: Analyse des échantillons des poussières après l'installation du filtre à manche.....	70
Figure 24: Le pH du sol.....	71
Figure 25: Conductivité et salinité du sol.....	71
Figure26: Représentation graphique du poids, taille et PC des nouveaux nés de la région d'Ain Touilla .....	95
Figure 27: Représentation graphique du poids, taille et PC des nouveaux nés de la région d'El Kherba.....	96
Figure28: Représentation graphique du poids, taille et PC des nouveaux nés de la région d'Ouled Adouene .....	97
Figure29: Représentation graphique du poids, taille et PC des nouveaux nés de la région d'Ain Arnat .....	98
Figure 30: Représentation graphique des paramètres poids, taille et PC au niveau des différentes stations avant et après l'installation du filtre.....	98



## Introduction

La crise globale de l'environnement a constitué durant cette dernière le défi majeur au quel l'humanité se trouve confrontée en ce début du troisième millénaire, bien que son émergence remonte selon toute évidence au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle caractérisé par un développement industriel sans précédent (UNDP, 1998 ; WHO, 2005).

C'est principalement à partir de cette période que l'on a commencé à ressentir de manière significative l'action de l'homme souvent anthropique (RAMADE, 2007).

Les statistiques prévoient d'ici le milieu du 21<sup>ème</sup> siècle, une croissance démographique de la population mondiale de 50 (%), elle passera de 6 milliards en 1999 à près de 9 milliards en 2050. Sur notre planète, en effet, plus d'un milliard d'hommes ont moins de 20 litres d'eau par jour, ce qui est très peu pour vivre (WHO, 2005).

La situation environnementale de l'Algérie se caractérise donc par une forêt instable , une désertification rampante, des ressources en eaux soit souterraines ou de surfaces en voie d'épuisement rapide. Fortement surexploitées, particulièrement ces dernières années cette situation est la conséquence d'une longue sécheresse, d'une pollution industrielle préoccupante, des déchets dangereux et toxiques stockés à l'air libre, auxquels s'ajoutent les incendies de forêts et l'érosion hydrique (ADDOU, 2004).

La pollution par le ciment constitue un danger potentiel pour les riverains à Ain EL Kebira depuis une trentaine d'années, dates de la mise ne service des unités industrielles que sont la cimenterie (SCAEK du groupe ERCE) et la Saniak (du groupe BCR) par l'émanation des poussières des fours des cimenteries ainsi que les rejets hydriques dans l'Oued Ezzatine (HERTIG, 2006).

Notre travail s'articule sur deux partie, l'une théorique et qui consiste à développer l'aspect bibliographique du sujet inhérent à la pollution en général et celle par les poussières du ciment et les éléments traces métalliques (ETM) appelés communément métaux lourds en particulier.

L'autre pratique met en valeur l'aspect expérimental et se présente selon le plan suivant :

Cette étude de la pollution atmosphérique liée à l'émanation des poussières de ciment consiste en l'installation d'un dispositif particulier de Jauges Owen (BOUMEGOURA & HABAS, 2003) dans six stations différentes réparties tout autour de la cimenterie et dont le but est de recueillir chaque mois des échantillons. Cela permettra de mesurer les flux des retombées atmosphériques particulières et leur contenu métallique dans des zones d'impacts majeurs de rejets des poussières de la cimenterie d'Ain El Kebira.

Donc l'évaluation du degré de pollution particulaire de la cimenterie, la détermination de la dispersion des particules selon leur composition granulométrique et leur teneur en métaux lourds avant et après l'installation du système de dépoussiérage.

C'est pour la première fois qu'une telle étude est menée au niveau de cette région proche du parc national des Babors, réserve classée et protégée universellement (DJIRAR, 2007).

Les hautes plaines Sétifiennes sont une région définie par un relief représenté par des reboisements considérés en Algérie, comme la seule alternative dans la politique sylvicole (TEDJAR, 2003). Ces reboisements sont fragilisés par des infestations parasitaires périodiques (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff), par un sol très pauvre en matières organiques à dominance calcaire et un climat semi-aride (Tedjar, 2003). Donc c'est le pin d'Alep (*Pinus halipensis*.Mill) qui est considéré comme l'espèce qui s'adapte le mieux aux conditions climatiques et à la nature des sols de notre région d'étude (TEDJAR, 2003).

Le sol est considéré comme étant l'épiderme de la terre. Sans le sol les paysages ressembleraient à la planète mars (BAIZE, 2012).

En général en Algérie comme à Sétif peu d'études ont été effectuées sur la pollution des sols, actuellement nous disposons peu d'informations sur l'aspect pédo-géochimique de nos sols ainsi que l'absence de normes et de cartes inhérentes à la pollution du sol.

C'est pour cette raison que nous avons jugé utile d'étudier l'impact des polluants sur le sol issus des poussières de ciment émanant de la cimenterie (SCAEK du groupe ERCE) et des rejets hydriques de la Saniak (du groupe BCR).

Le monde Arabe représente 5% de la population mondiale, mais possède seulement 1% de l'eau douce de la planète. "Actuellement 18 des 22 états Arabes souffrent de pénurie d'eau et d'ici 2050 cette situation deviendra « une détresse en eau » a prédit le Dr. Abid Thyab Al Ajeeli du Parlement Arabe lors du 6ème Forum Mondial de l'Eau qui s'est tenu à Marseille du 12 au 17 mars 2012 (AL AJEELI A T, 2012).

L'Algérie septentrionale présente un climat semi-aride qui se caractérise par une forte irrégularité pluviométrique (DJIRAR, 2007).

L'Algérie à été classée par le conseil mondial de l'eau dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques au regard du seuil de rareté fixé à 1000m<sup>3</sup>/hab/an. Ses ressources sont évaluées à 19,2 milliard de m<sup>3</sup> correspondant à un taux de 600m<sup>3</sup>/hab/an (REMINI, 2007 ; (AWQC, 2001 ; PERENNES, 1993).

Dans la Wilaya de Sétif, la dotation est de 140 litres/jour/ habitant, cela est en dessous de la norme de l'OMS qui est de 250 litres/jour/habitant, mais cette situation sera améliorée par les grands transferts d'eau vers les barrages de Mahouane et Tachouda (DHWS, 2009).

En Afrique, plusieurs études ont montré que les unités industrielles polluent les eaux destinées à la consommation humaine issus des puits et forages limitrophes des unités industrielles comme la cimenterie à Cotonou – au Bénin (ZOUHOUN, 1993).

Cependant, 65% de l'eau potable distribuée est puisée dans les nappes souterraines, par forage ou aux sources. Les eaux souterraines constituent une ressource naturelle indispensable pour l'approvisionnement en eau potable en Afrique du nord.

Les travaux effectués dans la région de Berrahal en 2008 ont montré que les eaux de surfaces et la nappe phréatique des zones industrielles sont contaminées par les métaux lourds (KHELFAOUI *et al*, 2008).

Parmi les métaux lourds dangereux pour la santé, on cite le plomb, le mercure, le cadmium, l'arsenic, le cuivre, le zinc, et le chrome. Les métaux s'accumulent dans le foie et les reins ; organes très vascularisés, les dents et les os (BOEGLIN, 1999).

C'est en fonction de l'importance des eaux de surface que nous avons jugé utile d'aborder le problème de pollution par les métaux lourds d'Oued Ezzatine qui constitue une source d'approvisionnement de la nappe phréatique de la région, l'irrigation des cultures maraichères ainsi que le pâturage (COLLIN, 2004). Notre stratégie de recherche consiste à évaluer et déterminer les caractéristiques physico-chimiques (dureté, MES, conductivité, pH, Température, turbidité, nitrates, nitrites et chlorures) et les concentrations des métaux lourds (Fe, Cu, Zn, Cr<sup>6+</sup> et Pb) rejetés par les unités industrielles (AMBROISE, 2000 ; RAMADE, 1993 ; RODIER, 2005) ; la cimenterie (SCAEK), la Saniak du groupe BCR, et les deux unités de carrelage dans les eaux courantes d'Oued Ezzatine par Spectroscopie d'absorption atomique afin de déterminer leurs qualités . Cette analyse des eaux de surface d'Oued Ezzatine est suivie par une autre sur les caractéristiques physico-chimiques ainsi que la teneur en métaux lourds : Fe, Zn, Cd et Pb (AMBROISE, 2000 ; RAMADE, 1993 ; RODIER, 2005).

En absence du réseau d'alimentation en eau potable les riverains sont obligés d'utiliser l'eau des puits et des forages pour leurs besoins quotidiens (DHWS, 2009).

C'est au terme de notre étude que nous avons essayé d'établir une relation entre la pollution par les poussières du ciment et les femmes enceintes qui y sont exposées.

C'est dans ce contexte que nous nous sommes intéressés à l'étude de l'impact de la pollution par les poussières sur les nouveau-nés de la zone d'Ain El Kebira où nous avons mis en relief la taille, le poids et le périmètre crânien chez les nouveau-nés comme au niveau de l'étude menée par Rémy Slama à Grenoble en France en 2008 (SLAMA , 2008).

# CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

## I.1-Généralités sur la pollution :

Le terme de pollution rassemble l'intégralité des rejets toxiques libérés par l'homme. L'histoire des pollutions suit le même chemin que celui des progrès de la technologie (Ramade 2000).

La révolution industrielle, qui a marqué les XVIIIème et XIXème siècles, est un moment charnière dans l'histoire de l'Occident :

Elle a donné lieu à des mutations techniques, économiques et sociales importantes et se caractérise par le développement de nouvelles technologies telles que l'électricité et le moteur à explosion. C'est principalement à partir de cette période que l'on a commencé à ressentir de manière significative l'action de l'homme sur l'atmosphère avec une pollution principalement industrielle (RAMADE, 1993 ; AMBROISE, 2000 ; RODIER, 2005 ; ADRIENNE YRA, 2006).

Jusque dans les années 1970 la pollution atmosphérique était considérée comme un problème local, en réponse aux manifestations de pollution dans certaines zones urbaines et industrielles comme le célèbre smog de Londres en 1952 (UNICUMA, 2000).

La prise de conscience des dommages causés par la pollution au milieu naturel a contraint les autorités politiques et législatives des pays industrialisés et développés à introduire des réglementations pour protéger l'environnement ou à réviser les réglementations existantes (WHO, 1997). Toutefois, ces dernières années, il s'est produit dans le monde entier, mais surtout dans de nombreux pays d'Afrique, une croissance démographique spectaculaire qui s'est accompagnée d'une urbanisation intensive, du développement des activités industrielles et d'une exploitation accrue des terres cultivables (ZOHOUN *et al*, 1993).

On retiendra la définition donnée par la convention de GENEVE en 1979 sur la pollution atmosphérique : l'introduction dans l'atmosphère par l'homme, directement ou indirectement de substance ou d'énergie ayant une action nocive de nature à mettre en danger la santé humaine, à endommager les ressources biologique et les écosystèmes, à détériorer les bien matériels et à porter atteinte ou à nuire aux valeurs d'agrément et aux autres utilisation légitimes de l'environnement (WHO, 2005) . Elle est liée principalement aux activités humaines. La génération de grandes quantités d'énergie par combustion et le développement des procédés industriels a perturbé cet équilibre, non seulement à l'échelle locale mais aussi à l'échelle mondiale (WHO, 2005 ; RAMADE, 2007) .

Elle s'est accrue dans des proportions considérables au cours de la dernière décennie dans l'ensemble des pays principalement développés.

Des réglementations sont instaurées dans chaque pays afin de maintenir les polluants aussi bien solides que gazeux, présents dans l'atmosphère, en dessous des limites estimées dangereuses pour les écosystèmes. Aujourd'hui, le seuil élevé atteint par la pollution de l'air nous fait prendre conscience de l'importance des problèmes et des dangers qu'ils représentent pour la santé des êtres vivants et de l'homme en particulier (MELANBY & VINCENT 1976 ; AMBROISE, 2000 ).

Cette contamination de l'air est avant tout marquée dans les régions industrielles et dans les villes mais certains polluants peuvent remonter dans l'atmosphère puis, poussés par les vents, voyager sur des dizaines et même des centaines voir des milliers de kilomètres, n'épargnant ni les régions rurales, ni les endroits les plus reculés de la planète (RAMADE, 1982 ; DAVIS *et al* ,2003 ).

Les matières premières du ciment sont souvent séchées pendant la préparation et le broyage, et l'humidité est rejetée sous forme de vapeur d'eau inoffensive. Pendant la cuisson des matières premières (fabrication du ciment), le carbonate de calcium est transformé en oxyde de calcium, laissant s'échapper le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) contenu dans le calcaire.

Le procédé d'extraction et de transformation du ciment entraîne la formation de poussières. Pour le ciment, il s'agit d'un mélange de calcaire, d'oxyde de calcium, de minéraux et en partie de ciment cuit (BOUMEGOURA et HABAS, 2003 ; FERFER, 2003 ; SCAEK, 2006).

Les métaux présents dans l'eau et l'environnement terrestre sont des éléments nécessaires au fonctionnement normal des plantes et des animaux. Ils jouent un rôle important dans la transformation de la matière, principalement dans les mécanismes enzymatiques. Une faible concentration de ces éléments dans l'environnement a généralement un effet positif et stimule l'activité des organismes vivants (RAMADE, 1979 ;ALTUG, 2009 ).

Dans la convention de Genève, le protocole relatif aux métaux lourds désigne par le terme ETM (éléments traces métalliques) "métaux lourds" les métaux qui ont une masse volumique supérieure à 4,5 g/cm<sup>3</sup> (WHO, 2005).

L'expression "métaux toxiques" convient mieux que celle utilisée habituellement de "métaux lourds ou bien éléments en traces". Elle englobe l'ensemble des métaux et métalloïdes présentant un caractère toxique pour la santé et l'environnement : plomb (Pb), mercure (Hg), arsenic (As), cadmium (Cd), nickel (Ni), zinc (Zn), manganèse (Mn).

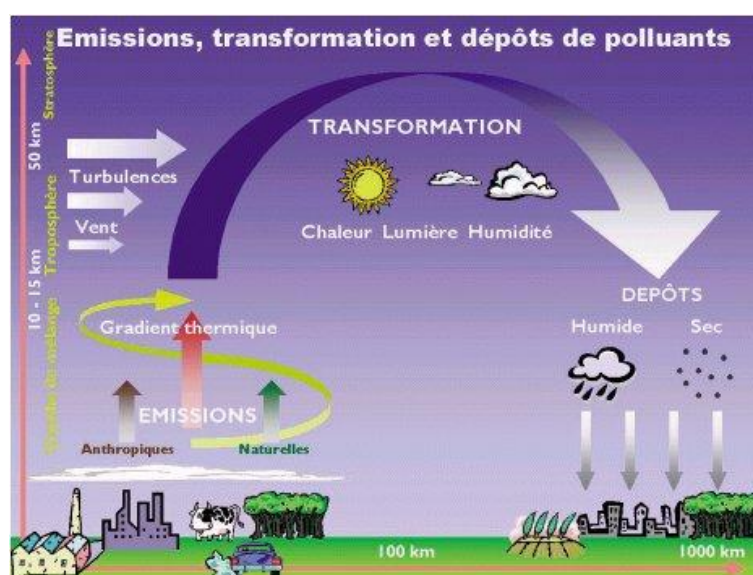
On distingue en général, les sources suivantes et leurs substances émises.

**Tableau:1** Source des principales substances naturelles émises dans l'atmosphère (in RAMADE 2005).

Processus	Substances émises
Eruptions volcaniques	H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , poussières
Processus microbiens (dégradation du matériel organique, réactions chimiques dans le sol et dans l'eau)	CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S
Feux de forêts et de prairies	CO, NO <sub>x</sub> , poussières
Eclaires	NO <sub>x</sub>
Erosion	Poussières
Emanation de plantes	Terpènes, Isoprènes, pollen, CH <sub>4</sub>
Météorites, Météores	Poussières
Embruns marins	Aérosols de NaCl, KBr, CaCl <sub>2</sub>
Digestion, excréments d'animaux	NH <sub>3</sub>

Emission aérienne par combustion des végétaux, du pétrole, extraction de minerais, processus industriels, incinérateurs, élimination des déchets miniers et industriels et industrie agro-alimentaire (utilisation à long terme de certains composés chimiques pour la protection des plantes a mené à l'augmentation des quantités de cuivre, de mercure, de cadmium et de plomb dans les sols, contaminant alors les aliments) (RAMADE 2005).

L'eau et l'air peuvent être considérés comme des sources renouvelables, mais dans les sols l'effet des activités humaines est plus persistant et souvent irréversible (RAMADE 2005).



**Figure 1 :** Émission, transformation et dépôts de polluants (In CITEPA, 2012)

## I.2- Pollution de l'air

Le terme de pollution atmosphérique est utilisé pour décrire le mélange de substances présentes naturellement ou introduites artificiellement par les activités humaines dans l'air qui, en l'état actuel des connaissances, sont de nature à créer une gêne ou nuire à la santé de la population, à induire des effets néfastes sur les écosystèmes et les matériaux ou modifier les grands équilibres (ARQUES , 1998 ; BERAT, 2002).

Les plus connus et utilisées comme indicateurs (traceurs) ce sont :

\*Les oxydes de soufre ( $SQ_x$ ) et principalement le dioxyde de soufre ( $SO_2$ ).

\*Les oxydes d'azote (NO), comprenant notamment le monoxyde et le dioxyde d'azote (NO et  $NO_2$ ).

\*Le monoxyde de carbone CO et l'ozone (NO).

\*Le Pb.

\*Les particules en suspension également désignées par le nom de particules matter (PM).

Nous pouvons noter que les premiers effets de la pollution urbaine de l'air étudiés de façon méthodique concernent les monuments historiques en France soit à Paris ou dans quelques grandes villes comme Strasbourg (BERAT, 2002 ; FONTAN, 2003).

Les poussières noircissant les façades ont imposé aux municipalités de les ravalser de plus en plus fréquemment.

Mais surtout la présence de dioxyde de soufre provenant des installations de chauffage a eu des conséquences sur les statues et sur les pièces ouvragées sculptées de l'architecture de pierres des villes ou des monuments (BERAT, 2002 ; FONTAN, 2003).

Quand on parle de pollution de l'air, il est évident qu'on pense plus volontiers aux gaz d'échappement des voitures et des poids lourds dont le nombre est partout en augmentation constante, aux fumées noires des usines, aux dégagements toxiques des incinérateurs, à la combustion du pétrole et des produits fossiles (UNICUM , 2000 ;FOURMEAUX & RESCAR, 2004 ).

On associe également les incendies de forêts, qui déversent chaque année dans l'atmosphère des milliards de tonnes de carbone, de  $CO_2$ . Ce gaz est le principal responsable de ce que l'on appelle « l'effet de serre », qui provoque le réchauffement climatique (Ramade, 1979).

L'empoisonnement de l'atmosphère, c'est aussi les pluies acides produites par le rejet d'oxydes de soufre et d'azote dans l'air, dont on accuse les chaudières industrielles et les fours d'affinage. Ces gaz transportés par les vents retombent en dilutions acides (sulfurique et nitrique) dans les océans, et mettent en danger nombre d'organismes marins, parmi lesquels les coraux. La chimie des océans étant modifiée, déjà par les autres sources de pollution dont

on a fait état ci-dessus, ils deviennent de moins en moins capables d'absorber le gaz carbonique de l'atmosphère (ZEROURQUI *et al*, 2005).

Ce phénomène est grave, puisque dans le même temps des forêts entières, immenses réservoirs d'oxygène, pouvant elles aussi absorber une bonne partie du CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère, sont détruites (RAMADE, 2002). Les gaz à effet de serre ont provoqué depuis le début de l'ère industrielle une augmentation de la température de plus de 1° C. Une preuve évidente de ce réchauffement est apportée par la fonte des glaciers, qui s'accroît d'une année à l'autre. Or, des populations entières sont dépendantes de l'eau provenant des glaciers pour leur agriculture et leur industrie (BERAT, 2002).

La conférence des Nations Unies s'est tenue à Rio, en 1992, réunissant des pays industrialisés pour discuter d'un objectif non contraignant et de diminution des émissions dans l'atmosphère des gaz à effet de serre (WHO, 1997). On en est resté aux déclarations d'intention. En 1997, cinq ans après, les émissions de gaz continuant d'augmenter, une nouvelle réunion sur le sujet s'est tenue à Kyoto, au Japon. Un protocole a été signé, qui se voulait cette fois contraignant pour les nations adhérentes. Malheureusement, il n'a été ratifié ni par les États-Unis ni par la Chine, les deux plus gros pollueurs de la planète (WHO, 2005). Quant aux signataires, eux, ont dû s'engager à réduire d'ici à 2012 leurs émissions de gaz à effet de serre de 5, 2 % au-dessous des niveaux de 1990 (WHO, 2005). La Russie, qui n'avait pas ratifié le traité à l'époque, l'a fait entre-temps. Le quorum étant désormais atteint, rien ne s'oppose plus maintenant à ce que les états, qui se sont engagés dans cette voie, prennent leur responsabilité. Si l'air extérieur est pollué par l'énorme dégagement de CO<sub>2</sub>, il l'est également par l'épandage de tonnes de pesticides en usage courant et massif dans l'agriculture, intensive ou non (BLIEFERT, 2001 ; GRIFFITHS, 2003).

Ces substances, souvent hautement toxiques, dégagent des émanations dangereuses pour la santé humaine, en même temps qu'elles empoisonnent la faune et la flore. Les particules en suspension ou les matières particulaires sont un polluant atmosphérique consistant en un mélange complexe de substances organiques et minérales en suspension dans l'air, sous forme solide et/ou liquide (BLIEFERT, 2001 ; GRIFFITHS, 2003).

Ces particules sont de taille, de composition et d'origine diverses. Leurs propriétés se définissent en fonction de leur diamètre aérodynamique appelé particules mères : PM.

Les PM<sub>10</sub> (particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 µm), peuvent atteindre les voies respiratoires inférieures et les poumons.

Les particules plus fines, appelées PM<sub>2,5</sub> (diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm), sont plus dangereuses dans la mesure où elles pénètrent plus profondément dans les poumons et



peuvent atteindre la barrière alvéolo-capillaire. La taille des particules détermine également leur temps de suspension dans l'atmosphère. En effet, si les  $PM_{10}$  finissent par disparaître de l'air ambiant dans les quelques heures qui suivent leur émission de par l'effet de la sédimentation et des précipitations, les  $PM_{2,5}$  peuvent rester en suspension pendant des jours, voire pendant plusieurs semaines (GRIFFITHS, 2000).

Par conséquent, ces dernières particules peuvent parcourir de longues distances. L'émission directe des particules primaires dans l'atmosphère est le résultat de procédés anthropiques ou naturels. Les principales sources anthropiques sont les activités industrielles, cimenteries, fabrication de céramique et de briques (BLIEFERT, 2001 ; GRIFFITHS, 2003).

### **I.2.1- Influence des facteurs météorologiques dans la dispersion des polluants:**

C'est dans l'atmosphère que se déroulent les principaux phénomènes météorologiques et les principales réactions chimiques conduisant au transport, à la dispersion et aux transformations ou au contraire à l'accumulation des polluants atmosphériques. Parmi les facteurs météorologiques, ce sont surtout le vent, l'humidité et la température qui exercent une action prépondérante sur le devenir des polluants (BLIEFERT, 2001 ; GRIFFITHS, 2003).

#### **I.2.1.1- Le vent :**

Le vent trouve son origine dans les mouvements de l'air chaud venant de l'équateur et qui est remplacé par un courant d'air froid venant des pôles.

Il entraîne les polluants émis dans la direction de son déplacement et les répand dans le bassin aérien. La dispersion des polluants dépend alors de sa vitesse, sur un site donné, cette dispersion est étroitement liée à la rose des vents.

La direction du vent au sol peut être différente de celle à haute altitude à cause des effets dus aux frottements avec le sol, au gradient thermique et au relief.

En cas de calme atmosphérique (stabilisation ou stagnation), c'est-à-dire absence de courants d'air, les polluants s'accumulent au voisinage des lieux d'émissions (DAGET, 1977).

#### **I.2.1.2 Température :**

La température à la proximité du sol est supérieure à celle d'altitude plus élevée, cela est dû à l'échauffement par le soleil qui crée un gradient adiabatique de l'ordre de  $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  par 100 m. D'autre part, si une particule d'air subit un mouvement ascendant dans l'atmosphère, elle se dilate du fait des pressions décroissantes auxquelles elle est soumise et sa température baisse. On peut déduire que cette variation de température entraîne un mouvement vertical ascendant

des particules d'air des couches inférieures de l'atmosphère vers les couches supérieures, ce mouvement est nommé convection thermique verticale, il entraîne avec lui les particules polluantes (BLIEFERT, 2001 ; GRIFFITHS, 2003). Si la température en hauteur est plus élevée qu'au niveau du sol, on a un phénomène d'inversion thermique et dans ce cas il n'y a plus d'élévation de particules d'air, donc un phénomène naturel qui réduit périodiquement la turbulence dans la couche de mélange et entraîne sur des périodes relativement larges, un arrêt des polluants à faible hauteur (CORPUS, 2002) .

### **I.2.1.3 Les précipitations :**

Les précipitations favorisent le dépôt des particules polluantes se trouvant dans l'air.

En effet, en tombant, la pluie entraîne avec elle vers le sol, les particules solides rencontrées sur son chemin c'est le phénomène du « Wash out » « Rain out » (lessivage) (GRIFFITHS, 2003).

## **I.3- Pollution de la flore**

Nous sommes habitués à considérer les arbres comme des parapluies naturels.

Les sapins, notamment, assurent une bonne protection : ils peuvent retenir jusqu'à la moitié de l'eau qui se déverse du ciel (AGORAMOORTHY, 2009).

Les dommages causés par la pollution atmosphérique peuvent se manifester de plusieurs façons. Ils peuvent apparaître rapidement sur le feuillage, sous la forme de lésions nécrotiques. 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 plants meurent tout de suite, mais la mort se produit habituellement après des attaques répétées (GOMBERT *et al*, 2005).

Pour les végétaux, les polluants pénètrent par les stomates, ouvertures placées sur l'épiderme des végétaux, permettant les échanges gazeux avec l'atmosphère nécessaires pour la respiration ou la photosynthèse. Les polluants bloquent les stomates ou détruisent les chloroplastes (corps cytoplasmiques des cellules contenant la chlorophylle qui absorbe l'énergie solaire pour provoquer des processus chimiques produisant notamment des sucres) puis les cellules et les nervures (JELASKA *et al*, 2007).

La vie d'une plante dépend de nombreux paramètres : lumière, humidité, composition du sol et température.

Les nécroses dues aux polluants ne sont pas toujours faciles à distinguer des effets physiologiques dus au gel, à la sécheresse, aux maladies et aux attaques d'insectes.

Il est à noter que les aiguilles de résineux sont encore plus sensibles que les feuilles car elles durent de 5 à 7 ans et filtrent plus intensément les émissions ce qui entraîne leur chute prématurée.

Les arbres qui sont sensibles à l'ozone sont : le mélèze, le pin cembro, le pin d'Alep, le pin noir d'Autriche et le noyer (JELASKA *et al*, 2007).

L'eau de pluie qui descend le long d'un arbre change de composition. D'ordinaire, elle absorbe au passage des poussières, des excréments d'insectes et des produits végétaux provenant de l'arbre, ainsi que divers éléments tels que du carbone, du calcium et du manganèse.

Ainsi, l'eau des précipitations qui parvient par ruissellement directement sous les conifères est plus chargée en une foule d'éléments que l'eau des précipitations que l'on trouve dans les zones situées entre les arbres. Dans les forêts de pins, cette loi s'observe de manière moins marquée (NAAZ & PANDEY, 2010).

La sensibilité des lichens au dioxyde de soufre a permis, en fonction de la présence ou l'absence de certaines espèces, de définir un indice de pureté atmosphérique ou, en mesurant la concentration de polluant dans les tissus, d'établir des courbes de concentration en polluant. Les plantes cultivées ou d'ornement présentent des sensibilités très contrastées : certaines espèces de tabac ne peuvent plus pousser quand elles sont exposées à l'ozone.

Ces espèces et leur sensibilité sont suffisamment connues pour en faire des bio-indicateurs.

Lors des attaques, se manifestent souvent des nécroses des tissus, du gaufrage ou de la chlorose (RAMADE, 1982 ; NAAZ & PANDEY, 2010 ).

La reconnaissance visuelle de ces effets étant aisée, les végétaux favorisent l'établissement de diagnostic des pollutions atmosphériques.

Les polluants agissent sur la pellicule de protection des feuilles, diminuant leur imperméabilité et augmentant l'évapotranspiration naturelle. L'arbre, privé d'une partie de ses ressources en eau, souffre alors de sécheresse, même lorsque les conditions climatiques sont normales. Absorbés soit par les racines, soit par les feuilles, les polluants détruisent l'arbre de l'intérieur en attaquant les vaisseaux qui transportent la sève (JELASKA *et al*, 2007).

Les polluants se déposent également sur le sol et, lorsqu'ils pénètrent dans le sous-sol, détruisent les éléments dont l'arbre a besoin. Celui-ci, affaibli, n'a plus les moyens de régénérer le sol sur lequel il pousse. A l'action des polluants et à l'appauvrissement des sols, il faut rajouter un troisième facteur, d'ordre climatique : une forte sécheresse, surtout si elle est suivie d'un hiver rigoureux, fragilise les reboisements et les forêts (JELASKA *et al*, 2007).

### **I.3.1 Le dioxyde de soufre :**

Il provoque des nécroses entre les nervures des feuilles de couleur ivoire ou brun clair selon les espèces. Après une pollution, le feuillage repousse. Une série d'attaques répétées peut ralentir la croissance de l'arbre (RAMADE, 2002).

### **I.3.2 Les composés fluorés**

Ils génèrent sur les feuilles des zones d'aspect huileux et flasque de couleur ivoire, brun et noir qui s'étendent sans tenir compte des nervures. Une ligne de démarcation de couleur brun-rouge est reconnaissable entre tissus atteints et sains. Les effets du fluor sont longs à se manifester mais, une fois apparus, progressent constamment (RAMADE, 2002).

### **I.3.3 Les oxydants photochimiques (nitrate de peroxyacétyle)**

Ils provoquent un reflet métallique typique (couleur argent bronzé.) limité à la surface des feuilles, probablement dû à la déshydratation. L'ozone provoque des taches ponctuelles (blanches ou marron) ou une chlorose touchant la face supérieure de la feuille. Il est considéré comme 2 ou 3 fois plus toxique que le dioxyde de soufre (RAMADE, 2002).

Le dioxyde de soufre dispose d'un effet inverse sur les stomates qui restent alors ouverts et la plante souffre de stress hydrique surtout les années sèches puisque toute son eau s'évapore.

Les oxydes d'azote entraînent un enrichissement en nitrates dégradés en nitrites qui s'accumulent et attaquent les thylakoïdes, pièges à lumière des chloroplastes (RAMADE, 2005).

On parle maintenant plutôt d'un faisceau de causes en relation les unes avec les autres.

Les atteintes provoquées par les émissions sont amplifiées par le climat, le mode de plantation plus ou moins adapté dans un contexte donné, relayées par les insectes et les champignons.

On parle moins de la mort des forêts que de leur dépérissement (TEDJAR, 2003).

Après avoir largement incriminé les pluies acides, on soupçonne l'ozone d'être en partie responsable de la dégradation de la santé des forêts d'Europe et d'Amérique du Nord ; l'autre hypothèse accorde un rôle plus grand aux modifications de l'écosystème (par SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>). L'ozone endommage la cuticule des feuilles et des aiguilles, ferme les stomates ou attaque les chloroplastes ; les cellules, les aiguilles, les feuilles jaunissent puis tombent ; les zones concernées peuvent se trouver loin des centres de pollution ; la pollution semble se concentrer dans des secteurs bien délimités (FORBES, 1994).

Selon une nouvelle étude britannique, les arbres de Londres renforcent la qualité de l'air en filtrant les concentrations de particules de pollution.

La méthodologie développée dans le cadre de l'étude a permis aux scientifiques de prédire la quantité de pollution pouvant être éliminée à l'avenir, face au changement climatique et aux augmentations d'émissions de pollution (TALLIS, 2011).

Les particules en suspension de pollution affectent la santé humaine. Des chercheurs de l'université de Southampton au Royaume-Uni en 2011 ont montré que les arbres de la zone du Grand Londres élimineraient entre 850 et 2000 tonnes de particules (PM<sub>10</sub>) de pollution de l'air chaque année (TALLIS, 2011).

Ces données montrent que la future qualité de l'air en termes d'élimination des PM<sub>10</sub> serait renforcée par la plantation d'arbres dans les zones de Londres fortement polluées. Le choix des arbres, tels que les arbres à feuillage persistant comme les pins et les chênes verts, permet également de garantir le succès de l'objectif (TALLIS, 2011).

Les arbres ont évolué pour capter le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de l'atmosphère, ainsi, il n'est pas surprenant qu'ils puissent aussi éliminer d'autres polluants », explique l'un des auteurs de l'étude, le professeur Gail Taylor de l'université de Southampton. « Les arbres à feuillage persistants sont exposés à davantage de pollution et ont une meilleure capacité d'absorption. Par l'utilisation de plusieurs espèces d'arbres et l'application de plusieurs approches de modélisation, l'efficacité de la canopée des arbres peut être renforcée ».

Dans cette étude, les chercheurs ont apporté des prédictions d'absorption de PM<sub>10</sub> dans les futurs scénarios climatiques de Londres et pour ces plans de plantation d'arbres dans la capitale britannique (TALLIS, 2011).

L'utilisation de données saisonnières et non horaires n'a pas beaucoup affecté la déposition annuelle de pollution modélisée pour les arbres urbains. Selon les chercheurs, l'absorption de la pollution peut ainsi être mesurée dans d'autres villes pour l'avenir, car les données horaires ne sont pas disponibles.

« Nous savons que les particules de pollution sont dangereuses pour la santé humaine, en aggravant par exemple l'asthme, cette diminution d'exposition pourrait donc avoir de réels bénéfices dans certains endroits, comme par exemple à proximité des cours de récréations », commente le professeur Peter Freer-Smith, scientifique pour la recherche Forest de la commission Forest research. « Les espaces verts et arbres des villes offrent d'innombrables bénéfices et cette étude confirme qu'ils contribuent à l'amélioration de la qualité de l'air, et nous aidera à en bénéficier au maximum à l'avenir » (TALLIS, 2011).

## **I.4- Pollution du sol**

Chaque année, des millions de tonnes de déchets industriels, d'ordures ménagères, d'engrais et de pesticides sont rejetées dans la nature. Plusieurs de ces substances ne sont pas biodégradables, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent être décomposées par les micro-organismes du sol. Des matières comme le métal des boîtes de conserve, les piles, le verre et la plupart des plastiques s'accumulent ainsi dans l'environnement (HAZOURLI et *al*, 2007). Il est donc important de les recycler et de les réutiliser au lieu de les jeter. Par ailleurs, la plupart des polluants non biodégradables du sol proviennent des industries qui rejettent des milliers de substances différentes ! Plusieurs de ces produits hautement toxiques s'infiltreront dans les sols et finiront par rejoindre des cours d'eau qu'ils contaminent (HAZOURLI et *al*, 2007).

Malgré les efforts que l'on fait pour réglementer l'élimination des déchets et les pratiques agricoles, la contamination des sols ne cesse de s'accroître partout dans le monde (WHO, 2000). Les roches à partir desquelles le sol s'est constitué peuvent être acides, neutres ou alcalines. Les pluies acides vont voir leurs actions renforcées ou neutralisées selon la nature du sol sur lequel se font les immiscions. Si la tendance est à l'acidification, plantes et animaux vont voir de plus en plus de difficultés à subsister (HAZOURLI et *al*, 2007).

Les branches et les racines des arbres abattus fournissent au sol, lorsqu'elles se décomposent, de précieuses substances nutritives. Mais aujourd'hui, lorsque l'on coupe des arbres pour en exploiter le bois, on emporte tout. Le sol perd alors cet apport. Il s'appauvrit et offre moins de résistance au lessivage des pluies (GIRARD et *al*, 2002).

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît comme le sous-produit d'une action humaine, au travers d'effets directs et indirects. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers de ressources en produits agricoles, en eau, et autres produits biologiques (JEROME, 1999 ; GIRARD et *al*, 2002 ).

La pollution des sols correspond à l'accumulation des composés toxiques : produits chimiques, sels, matières radioactives ou agents pathogènes qui, tous ont des effets nocifs sur les croissances des plantes et la santé des animaux. L'utilisation accrue d'engrais et de nombreux produits insecticides et fongicides après la fin de la seconde guerre mondiale est, depuis les années 1960, source d'inquiétude sur l'état des sols. Certes l'application d'engrais contenant les principaux éléments nutritifs, à savoir azote, phosphore et potassium, n'a pas globalement, contribué à la pollution des sols. Cependant, les apports excessifs d'engrais azotés et de phosphores contribuent à la pollution des eaux ; de même l'utilisation excessive

d'oligoéléments peut nuire à l'état des sols. L'irrigation des terres arides mène souvent à une pollution par le sel (PANSU *et al*, 1998).

Dans un passé récent, le soufre provenant de déchets industriels a pollué certains sols, de même que la pulvérisation des cultures avec de l'arséniate de plomb a conduit à l'accumulation de l'arsenic.

De nos jours, les épandages excessifs de matières organiques, fumier, en plus des apports d'engrais minéraux, conduisent à une pollution par excès de nitrates que les eaux de pluie entraînent vers les nappes phréatiques et les cours d'eau (PANSU *et al*, 1998).

Rappelons aussi le grave problème de la pollution par les matières radioactives, iode 131, césium 137. Enfin l'emploi excessif d'insecticides organochlorés pose de graves problèmes dans la mesure où ces composés se dégradent lentement et de plus, s'accumulent progressivement dans la chaîne alimentaire dont l'homme est le maillon terminal.

L'eau et l'air peuvent être considérés comme des sources renouvelables, mais dans les sols l'effet des activités humaines est plus persistant et souvent irréversible (POPESCU *et al*, 1998).

La pollution industrielle contribue proportionnellement à la pollution du sol, en effet, certains métaux lourds rejetés par les activités industrielles sont susceptibles de s'accumuler au niveau du sol et de le polluer.

Une fois abandonné dans l'environnement, ces métaux peuvent persister des années, augmentant la probabilité d'altération du milieu naturel ainsi que la santé humaine.

La pollution des sols peut entraîner des dangers pour la santé publique et la qualité des eaux souterraines et de surfaces, celle-ci peut persister des années.

Les sols pollués peuvent présenter un risque :

\*À court ou moyen terme pour les eaux souterraines et les eaux superficielles.

\*À moyen et long terme pour les populations (les risques pour la santé résultent le plus souvent d'une exposition de longue durée pouvant équivaloir à une vie entière).

L'absorption des poussières de la silice qui n'est pas reconnue comme étant écotoxique provoque la silicose, cette poussière cancérogène et respirable peut être invisible à l'œil nu et si fine qu'elle peut rester en suspension dans l'air pendant très longtemps et parcourir ensuite de grandes distances jusqu'à toucher des populations qui ne sont pas par ailleurs considérées comme à risque (JEROME, 1999; GIRARD *et al*, 2002).

Dans les sols acides et pauvres en humus, de composition mécanique faible, les métaux lourds ne s'accumulent pas. Ils sont transférés vers les nappes phréatiques et les fleuves et / ou absorbés par les plantes et présentent alors un risque pour la santé (GIRARD *et al*, 2002).

Les sols basiques riches en humus piègent les métaux lourds, il n'y a donc pas de risque immédiat pour la santé. Mais le sol est contaminé durablement et la concentration en métaux lourds augmente avec les années. Ces derniers sont susceptibles d'être relargués quand l'environnement est modifié (acidification du sol sous l'effet des changements des caractères physicochimiques) et constituer ainsi une véritable bombe à retardement (Girard et *al*, 2002). Une fois relargués dans l'environnement, ces métaux peuvent persister des années, augmentant la probabilité d'intoxication humaine.

Les éléments métalliques sont susceptibles d'être situés dans les trois compartiments du sol :

\* Phase gazeuse ;

\*Phase liquide ;

\*Phase solide.

La spéciation des éléments en phase solide va définir leurs modes d'association et la localisation des cations et des anions sur ou dans la matrice.

Généralement, la majorité des polluants métalliques qui sont susceptibles d'atteindre les eaux souterraines transitent par le sol. Lors de ce passage, ils peuvent subir des transformations bio-physico-chimiques, qui auront pour effet soit de les immobiliser ou de les retarder, ou favoriser leur solubilisation et leur transport par les eaux d'infiltration (OSZAGH, 2003).

## **I.5 - Pollution hydrique**

Plus de 900 millions à 1 milliard de personnes, principalement en Afrique et dans le sud de l'Asie, n'ont pas accès à l'eau potable.

Sur notre planète, en effet, plus d'un milliard d'hommes en ont moins de 20 litres par jour, ce qui est très peu pour vivre (HERTIG, 2006).

La pollution de l'eau est même la première cause de mortalité dans le monde : les maladies associées à l'eau insalubre (diarrhée, choléra et typhoïde) tuent chaque année 8 millions de personnes (WHO, 2005).

L'eau est considérée depuis longtemps comme une matière première inépuisable, elle est indispensable à la vie mais se raréfie partout.

Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants (COLLIN, 2004.).



Déjà rares, les ressources en eau du monde arabe devraient passer sous un seuil critique dès 2015, selon le rapport annuel du Forum arabe pour l'environnement et le développement (AFED) présenté lors de sa conférence annuelle qui s'est déroulée le 4 et le 5 novembre 2011 à Beyrouth au Liban. La région Arabe est parmi les plus pauvres en eau du monde.

En raison de la croissance de la population et d'une mauvaise gestion, la part moyenne annuelle « *per capita* » devrait baisser, de moins de 1.000 m<sup>3</sup> aujourd'hui, déjà sous le seuil de rareté en eau, à moins de 500 m<sup>3</sup> dès 2015, correspondant à un stress hydrique sévère. La moyenne mondiale est de 6.500 m<sup>3</sup> (AFED, 2011).

Les habitants dans 8 pays arabes doivent déjà vivre avec moins de 200 m<sup>3</sup> par an et par personne.

À cause du changement climatique, il est probable que beaucoup de pays seront de plus en plus nombreux à connaître la sécheresse quand on sait que les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines (AL AJEELI, 2012).

Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants d'une explosion démographique dans les pays en voie de développement (COLLIN, 2004).

La plupart des sources en eau se situent hors des frontières arabes où sont partagées et la plupart des ressources en eau disponibles sont déjà développées. « Alors que les besoins dépassent les ressources, il est urgent d'appliquer une utilisation rationnelle des ressources en eau disponibles, et d'en développer de nouvelles, à l'instar des technologies innovantes de désalinisation », indique L'AFED.

L'homme est une partie intégrante des écosystèmes terrestres. Pour répondre à ses besoins sans cesse plus importants en termes alimentaires et sanitaires, il a synthétisé volontairement toutes sortes de molécules de plus en plus complexes, comme les médicaments à usage médical ou vétérinaire, les produits phytosanitaires, les plastifiants, etc. Ses activités ont généré ou augmenté la présence naturelle d'autres contaminants, sans réelle maîtrise de leur gestion. In fine, il a modifié les cycles naturels, comme celui de l'eau, en dégradant sa qualité et en cherchant à canaliser son écoulement. On entend par substances polluantes pour l'eau celles qui rendent l'eau impropre à sa consommation ou qui dégradent certaines de ses propriétés (BLIEFERT, 2001).

Parmi ces composés, outre certains composés biologiquement dégradables comme les substances nutritives, on compte aussi de nombreux polluants difficilement voire pas dégradables, par exemple ceux qui contiennent des huiles minérales, des résidus de pesticides,

des métaux ou des hydrocarbures halogénés. Dans le cas idéal, les déchets organiques se décomposent par autoépuration biologique jusqu'à minéralisation complète pour finir sous forme de substances inorganiques.

D'autres polluants, introduits dans l'environnement par l'industrie, sont pratiquement réfractaires à toute forme de dégradation par voie biologique. Leur teneur augmente dans les eaux, les sédiments et les organismes aquatiques (BRIGITTE *et al*, 2003).

### I-5-1 Cycle de l'eau:

C'est le cycle le mieux connu du public et aussi un des plus complexes est représenté dans la figure 2. Le mécanisme le plus simple montre que:

- Le relief produit une élévation des masses d'air qui provoque les précipitations orographiques. L'eau ruisselle sur la surface du sol et l'orographie conduit cette eau de ruisseau en rivière, en fleuve, aux lacs, mers et océans.
- De la surface du sol, l'eau pénètre également dans les couches superficielles du sol et dans le sous-sol qui joue le rôle de stock (nappe phréatique) ou simplement de milieu de transfert jusqu'aux sources celles-ci contribuent à l'alimentation des cours d'eau, puis des lacs. (HERTIG, 2006).

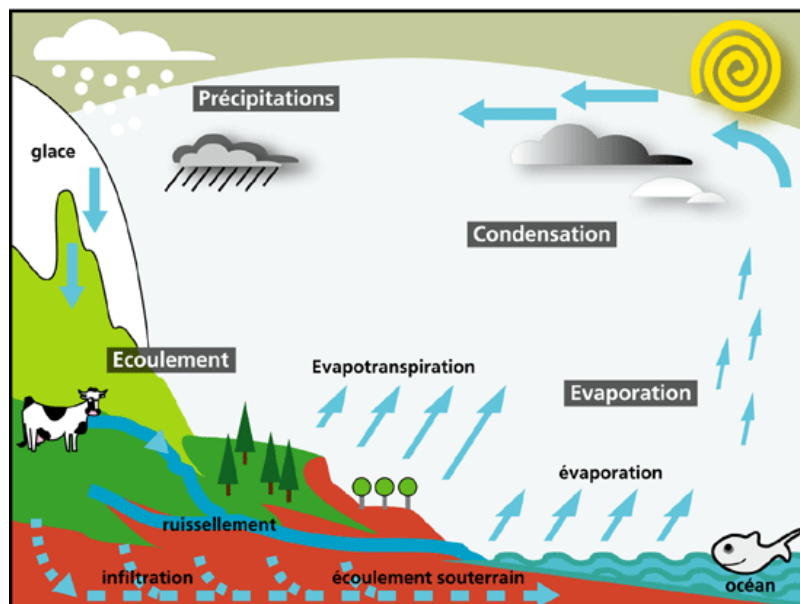


Figure 2 : Cycle d'eau source (YRA , 2006).

## **I.5.2 Caractères généraux de l'eau**

### **I.5.2.1 Le pH**

Le Potentiel Hydrogène qui a une échelle de valeur allant de 0 à 14 est utilisé pour mesurer le degré d'acidité. L'eau pure dite neutre a un pH égal à 7.

Le pH suit un cycle circadien : maxima le jour, minima la nuit. Il est en général plus élevé l'hiver et diminue l'été. Le pH est un facteur physique qui participe au même titre que la conductivité, l'alcalinité, la température à la répartition des organismes dans les écosystèmes aquatiques. Ainsi pour une reproduction piscicole acceptable, le pH doit être compris entre 6,5 et 8,5. Le pH dépend de la géologie, de la géochimie des roches et de l'activité biologique des sols du bassin. L'activité biologique peut modifier le pH dans les systèmes aquatiques.

Le déversement d'effluents industriels peut aussi entraîner des fluctuations du pH des cours d'eau (RODIER, 2005 ; ACEE, 2006).

### **I-5-2-2 La température de l'eau**

La connaissance de la température de l'eau fournit des indications sur l'activité biologique et biochimique des organismes aquatiques pour deux raisons essentielles :

**A-** Elle influence directement la réaction de dissolution de l'oxygène dans l'eau c'est à dire plus l'eau est froide plus la dissolution est importante. Or l'oxygène, aussi bien pour les organismes terrestres et aquatiques, est à la base du processus respiratoire.

Ainsi la température de l'eau fournit des indications importantes sur la santé du milieu aquatique. Une bonne oxygénation des eaux se situe au dessus de 5 mg/l, les mortalités piscicoles apparaissent au dessous de 3 mg/l (RODIER, 2005 ; ACEE, 2006).

**B-** Elle agit aussi sur le développement et la reproduction des organismes aquatiques. En effet, les poissons, les larves d'insectes sont poïkilothermes (ou hétérothermes : leur température varie en fonction de celle du milieu). Leur métabolisme ne fonctionne que dans des intervalles plus ou moins précis de températures. C'est pourquoi, les poissons comme les insectes ont une activité fortement ralentie pendant la période hivernale.

La température fournit donc des indications importantes sur le développement, la reproduction et l'activité des organismes aquatiques (RODIER, 2005 ; ACEE, 2006).

## **I.5.3 Pollution des eaux de surface**

Par eau de surface, on entend les eaux de ruissellement d'origine pluviale qui coulent sur le sol, se rassemblent dans les oueds et aboutissent aux barrages ou aux retenues collinaires (BRIGITTE, 2003).

Ces eaux peuvent subir une pollution au cours de leur parcours, principalement si le sol et les oueds contiennent des substances nocives. C'est le cas des sols agricoles qui retiennent les résidus d'engrais et des pesticides. C'est également le cas des sols naturels qui peuvent être contaminés par des rejets liquides, solides, dangereux ou toxiques provenant des activités industrielles ou autres (BRIGITTE , 2003).

A l'heure actuelle, beaucoup d'oueds qui canalisent les eaux de ruissellement vers les barrages, servent aux rejets liquides domestiques ou industriels provenant des agglomérations et des industries situées en amont des barrages et parfois comme lieu de dépôt pour les déchets solides industriels (métaux lourds, pesticides et cyanures ).

La pollution des eaux de surface est plus importante en période sèche qu'en période humide car le taux de dilution des polluants y est plus faible (DEEPALI & GANGWAR, 2010).

La pollution des eaux de surfaces a atteint un seuil critique principalement autour de certaines agglomérations.

La pollution de l'eau peut être définie comme la détérioration de la qualité de l'eau par des contaminants microbiologiques, des produits chimiques et des déchets entraînant des risques pour la santé et des dommages l'environnement et les écosystèmes. D'une façon simple, on adoptera la définition de la pollution de l'eau comme étant la dégradation de sa qualité par les activités de l'homme. Le développement socio-économique s'accompagne, d'une manière on d'une autre, par des rejets de déchets dans l'eau qui peuvent avoir des conséquences néfastes pour la santé de l'homme, son environnement et son avenir (DEEPALI & GANGWAR, 2010).

On peut classer la pollution de l'eau comme suit :

- la pollution physique due à la présence de matières en suspension appelées aérosols; elle se traduit par un trouble ou une coloration de l'eau plus ou moins accentuée,
- la pollution chimique due à des substances chimiques variées qui peuvent entrer en réaction entre eux en phase liquide,
- la pollution thermique due au rejet de la chaleur par les tours de refroidissement, les centrales d'énergie, l'industrie.

Les diverses pollutions peuvent avoir pour résultat :

\*La dégradation de la qualité de l'eau qu'on boit et un risque sur la santé.

\*Les nuisances visuelles par la coloration de l'eau,

En Algérie, l'approvisionnement en eau potable se fait à la fois par les eaux superficielles mobilisées au niveau des barrages et par les eaux souterraines qui sont limitées, utilisées au maximum avec une tendance à l'épuisement.

La pollution de l'eau est une réalité en Algérie. Les rejets d'eau non contrôlés des industries, l'arrêt de la presque totalité des stations d'épuration des eaux usées, le rejet direct des eaux usées en mer, l'état vétuste de la plupart des réseaux de distribution d'eau potable et leur juxtaposition avec les réseaux d'assainissement, la contamination des eaux par des rejets accidentels, sont à l'origine de la pollution qui atteint par moments un stade critique avec l'occurrence de graves épidémies (REMINE, 2007).

L'importance de l'eau dans l'économie ne cesse de croître et l'approvisionnement en eau douce devient de plus en plus difficile. L'industrialisation croissante, l'accroissement de la population et de son niveau de vie, sont de facteurs ayant contribué à ce que les rejets d'eaux résiduelles dans les eaux naturelles dépassent la capacité d'auto-épuration de celles-ci.

De manière générale, les normes de qualité des eaux sont appelées à être de plus en plus rigoureuses. Ceci exige le développement de procédés de traitement qui élimineraient les polluants de toutes sortes et par là renforcer les installations d'épuration et des équipements nécessaires à cet effet. L'approvisionnement régulier en eau constitue l'un des grands défis de l'humanité de ce millénaire (REMINE, 2007).

En Afrique, la rareté de cette ressource n'est pas un concept exceptionnel. Elle découle des particularités du contexte géographique et climatique du continent. Dans les prochaines décennies, l'incertitude des fluctuations climatiques, la croissance démographique, l'augmentation des besoins socio-économiques et les risques de pollution exacerberont les problèmes de disponibilité de cette ressource en quantité et qualité (WHO, 2005).

Ceci accentuera la tension entre l'offre et la demande et laisse pressentir des situations extrêmes dans un horizon proche. De telles situations se reproduiront dans l'avenir et peut-être même plus fréquemment si on les rattache au phénomène de désertification qui affecte l'ouest africain et à l'ampleur des changements climatiques à l'échelle planétaire.

La gestion intégrée de l'eau douce en tant que ressource limitée et vulnérable est une condition préalable essentielle au développement durable et à l'avenir du continent africain. L'intégration de programmes et de plans sectoriels sur l'eau dans le cadre de la politique économique et sociale est d'une importance primordiale pour l'action au 21<sup>ème</sup> siècle.

Une gestion efficace suppose d'intégrer les connaissances et de croiser des approches complémentaires, afin de tenter de concilier des points de vue contrastés et de proposer des réponses adaptées (WHO, 2005).

Les pluies sont à l'origine des eaux qui approvisionnent la surface terrestre. Les eaux de pluie, avant qu'elles ne touchent le sol, peuvent subir une contamination due aux particules et aux gaz polluants en suspension dans l'atmosphère. En d'autres termes, la pollution de l'air peut entraîner la pollution de l'eau. On dit que les pluies lavent ou lessivent le ciel.

Dans certains pays, on parle de pluies acides qui sont dues à la formation d'acide sulfurique ou d'acide nitrique par absorption par les gouttes de pluie du dioxyde de soufre ou des oxydes d'azote en suspension dans l'air ( GOURDEAU , 2004).

#### **I.5.4 Pollution des eaux souterraines**

En faisant disparaître les polluants dans le sol, on pense que l'on s'en débarrasse définitivement, ce qui est bien pratique, en conscience légère. En réalité on les cache tout simplement, et l'on pollue les nappes d'eau souterraine (GUENIN *et al*, 2003).

Or les eaux souterraines constituent une réserve immense dont on ne pourra pas se passer. C'est de l'eau pure, normalement protégée par les terrains qui la recouvrent, et par filtration au sein de l'aquifère. Lorsque la pollution y pénètre, en particulier par infiltration massive en un lieu, elle est plus ou moins retardée, et non pas directe et rapide comme dans le cas des eaux superficielles. Par contre la contamination est beaucoup plus longue à disparaître en raison de la lenteur de la circulation de l'eau souterraine (GUENIN *et al*, 2003).

En Algérie une grande partie de l'eau potable provient des nappes d'eaux souterraines.

La sécheresse qui sévit et l'exploitation à outrance de ces nappes et leur pollution de plus en plus grande constituent une préoccupation nationale. On constate une détérioration de la qualité en plusieurs points du territoire par infiltration (REMINI, 2007). .

Cependant, 65% de l'eau potable distribuée est puisée dans les nappes souterraines, par forage ou aux sources. Le reste provient des eaux de surface : lacs et rivières.

Les eaux souterraines constituent une ressource naturelle indispensable pour l'approvisionnement en eau potable en Afrique du nord.

Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et sont non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants (COLLIN, 2004).

La nappe phréatique constitue l'essentiel des approvisionnements en eau potable et son altération mettra obligatoirement en danger la santé de la population qui vit dans une région semi-aride (REMINI, 2007).

## **I.6 - Corrélation pollution- sante humaine**

Les humains sont les êtres vivants qui ont le plus d'impact sur leur environnement. Ils modifient leur habitat pour répondre à leurs besoins davantage que toute autre espèce. Lorsque les ressources deviennent limitées pour une population croissante, les humains agrandissent les villes et les champs cultivés, rompant ainsi l'équilibre naturel du milieu. Plusieurs activités humaines liées aux industries, aux transports et à l'agriculture engendrent différents types de pollution (RAMADE, 2007).

Qu'ils soient rejetés dans l'eau, dans l'air ou dans le sol, les polluants ne tardent pas à se disperser dans l'écosystème. La santé et la survie de tous les êtres vivants dépendent non seulement de la bonne volonté des individus, mais de celle des gouvernements du monde, qui devront travailler main dans la main pour lutter contre les causes de la pollution et préserver l'avenir de notre planète (RAMADE, 2007).

Les particules ayant un diamètre de 30 à 50 nanomètres peuvent se déposer dans les alvéoles pulmonaires d'animaux.

Des études toxicologiques ont identifié chez les animaux des maladies cardiaques, problèmes rénaux, dysfonctions vasculaires, diabète et autres maladies comme étant une réponse à l'exposition aux particules contenues dans l'air des villes, alors que d'autres études très récentes ont démontré que les métaux généralement présents dans les particules peuvent causer une arythmie cardiaque aiguë et la mort chez les animaux (WHO , 1997).

Par ailleurs, les poussières alcalines provenant des composés de calcaire traité dans une usine de ciment peuvent provoquer des troubles chez les animaux caractérisés par les lésions du tube digestif (AMBROISE, 2000).

Les effets sur l'homme sont mieux étudiés que ceux sur les animaux domestiques et bien que, sur les animaux sauvages, la toxicité sur les voies respiratoires doit être proche et les pollutions par l'alimentation sont évidemment très différentes : fluor stocké dans l'herbe.

Sont plus particulièrement suivis les oiseaux (faucons, geais, chouettes) qui stockent les métaux lourds dans leurs os, plumes, foies et reins, les hydrocarbures chlorés dans leurs tissus graisseux. Escargots et vers de terre sont utilisés pour les métaux lourds comme le Pb.

Les métaux sont particulièrement toxiques pour le fœtus, le nourrisson et le jeune enfant.

Quelques métaux, comme l'Hg et le Pb peuvent facilement passer le placenta et léser le cerveau fœtal. Chez les enfants, la charge de mercure donnée depuis la naissance est de plus en plus importante pour plusieurs raisons.

L'exposition aux métaux toxiques chez les jeunes enfants, outre les pathologies neuromusculaires dégénératives, peut entraîner des retards scolaires et des troubles de comportement comme l'agressivité ou l'hyperactivité, parfois autisme (WHO, 1997 ; AMBROISE, 2000).

## **I.7- Caractéristiques de la cimenterie d'Ain El Kebira**

Date d'entrée en production : Septembre 1978.

Démarrage expérimental des nouveaux filtres à manche : Le 6 mai 2006.

Démarrage officiel septembre 2006.

### **I.7-1 Produits fabriqués**

La société fabrique actuellement deux types de ciments qui sont:

- Les ciments portland aux ajouts CPJ 42,5 selon les normes NA 442 \ 2000.
- Le ciment résistant aux sulfates CRS 400 selon la norme NA 443 \ 1990.
- Le CPJ est composé de clinker (75%), gypse (5%), et d'ajouts (20%). Le CRS est constitué uniquement de clinker (95%) et de gypse (5%) (Sans ajouts).
- Le clinker broyé uniquement avec l'ajout gypse donne du ciment CPA.
- Le clinker broyé avec un mélange de gypse et d'ajout dans des proportions bien définies donne du ciment CPJ.
- Le clinker ayant fait l'objet d'une préparation spéciale à partir des matières premières et mélangées uniquement à du gypse donne du ciment CRS résistant aux sulfates (MSC, 2007 ; SCAEK, 2006).

### **I.7.2- Processus de fabrication du ciment**

La capacité nominale de production de la cimenterie est de 1.000.000 de tonnes de ciment/an. Le ciment est fabriqué par le procédé à voie sèche. Il passe par les principales phases suivantes :

#### **I.7.2.1 Extraction et préparation des matières premières**

Le calcaire et la marne sont extraits par manutention mécanique une fois la roche abattue à l'explosif et par ripage aux niveaux des deux carrières. Les deux matières premières sont transportées par des dumpers de 60 tonnes, sont concassés séparément dans des ateliers de concassage pour une réduction de 0-25 mm. Les matières traitées sont transportées vers l'usine par 2 convoyeurs à bandes vers un hall de stockage et de pré homogénéisation (SCAEK, 2006 ;MSC, 2007 ).



### **I.7.2.2 Préparation de la farine**

Pour la préparation de la farine, les matières premières sont reprises par des ponts gratteurs et acheminées vers des trémies de dosage via des bandes transporteuses. Le broyage du calcaire et de la marne avec une addition de 2 % de minerai de fer se fait en circuit fermé dans 3 broyeurs à boulets de 125 t/h chacun.

La poudre crue obtenue dénommée communément farine est acheminée à travers un séparateur où les fractions fines sont transportées pneumatiquement vers des silos d'homogénéisation (SCAEK, 2006 ; MSC, 2007).

### **I.7.2.3- Cuisson de la farine**

Après son stockage dans les silos, la farine crue est homogénéisée à l'extraction avant d'être expédiée à travers une tour où elle est préchauffée pour être ensuite pré calcinée avant d'arriver dans un four rotatif de 80 m de long et de 5,4 m de diamètre protégé par du réfractaire où elle est clinkérisée à 1450°C.

Le clinker résultant de la cuisson du mélange subit une trompe à travers un refroidisseur à grille avant d'être stocké dans 03 silos (SCAEK, 2006 ; MSC, 2007).

### **I.7.2.4- Broyage du clinker**

Le clinker additionné à du gypse et de l'ajout est broyé dans deux broyeurs à boulets de 90T/h chacun et donne du ciment. Transporté à l'aide de pompes pneumatiques, il est stocké dans 05 silos (SCAEK, 2006).

### **I.7.2.5- Stockage et expéditions**

Le stockage du ciment se fait par type de ciment dans des silos prévus à cet effet. Son expédition se fait soit en vrac ou conditionné dans des sacs de 50kg. S'il est expédié en vrac, il est pulsé directement des silos dans des camions citerne qui sont pesés. Pour l'expédition en sacs, le ciment transite par un atelier d'ensachage où il est automatiquement pesé et conditionné. La cimenterie utilise du calcaire et de l'argile, elle se trouve souvent près d'une carrière. Le calcaire est majoritairement du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), tandis que l'argile est un mélange complexe de silice ( $\text{SiO}_2$ ), d'aluminate ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) avec des impuretés et souvent hydratée. Ces deux minerais sont broyés puis mélangés à 100°C.

C'est l'étape de pré homogénéisation. Cette étape consomme beaucoup d'énergie fossile afin de retirer l'eau de l'argile. Le mélange est alors pré calciné à 800°C avant d'entrer dans le four tournant (SCAEK, 2006 ; MSC, 2007).

Cette pré-calcination entraîne la formation de chaux :  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ .

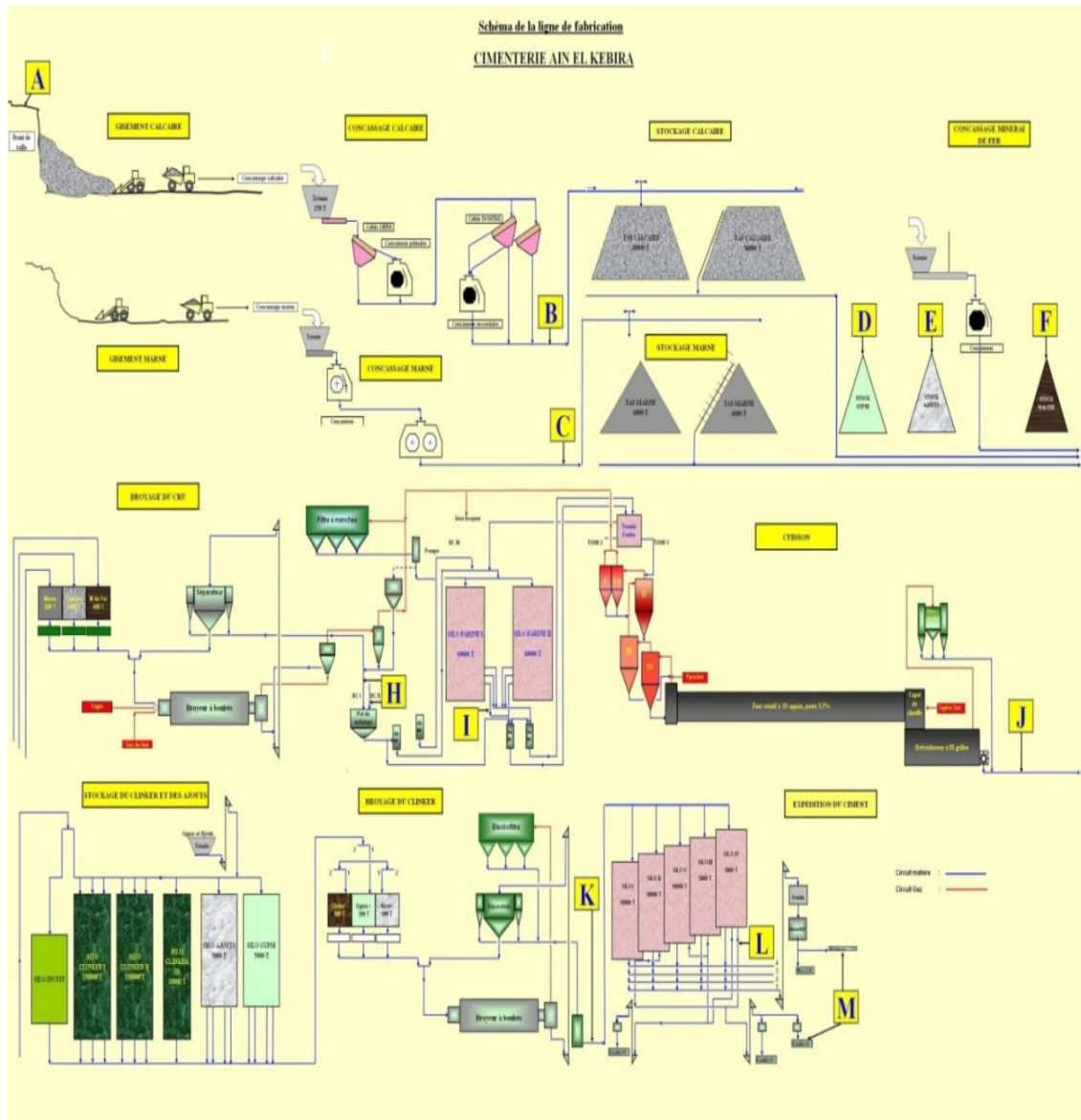


Figure 3. Processus de fabrication du ciment ( SCAEK , 2006).

### I.8- Identification des principales sources d'émission

- du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ )
- du monoxyde de carbone ( $\text{CO}$ )
- des oxydes d'azote ( $\text{NO}$  et  $\text{NO}_2$ )
- du dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ).

## **I.8.1- Sources de poussières**

### **I.8.1.1 Première phase**

C'est la phase de production de la matière nécessaire à la fabrication du clinker :

- \*Explosion au niveau de la carrière,
- \*Déversement de la matière première dans le concasseur.
- \*Concassage primaire et secondaire de la matière première.
- \*Transport de la matière première par tapis à ciel ouvert ou par camion vers le stockage.
- \*Déversement de la matière au niveau du hall de stockage.
- \*Broyage de la matière pour la préparation du cru (SCAEK, 2006 ; MSC, 2007).

### **I.8.1.2- Deuxième phase**

Le produit broyé est ensuite envoyé vers la cuisson pour la fabrication du ciment :

- Cheminée des fours à cuisson pour la fabrication de clinker.
- Refroidissement du clinker vers les silos de stockage.
- Acheminement du clinker vers le hall de stockage,
- Broyage du clinker (au niveau de l'alimentation de la trémie du broyeur).
- Transport du clinker par élévateur et son déversement dans le séparateur.
- Emission de poussières à travers les cheminées d'aération placées sur le toit des silos.
- Ensachage du ciment.
- Chargement des camions par du ciment en vrac ou en sachets.
- Mouvements des camions pendant les opérations de chargement

**Tableau 2.** Source des différents minéraux et composition minéralogique du ciment (SCAEK, 2006).

Les Composés	Nomenclature	Source	Composition moyenne de ciment (en pourcentage)
La Silice (SiO <sub>2</sub> )	S	Quartz, feldspath, opal, argile, micas.	17-25
La Chaux (CaO)	C	Calcite, aragonite, dolomite.	60-70
L'alumine (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	A	argile, feldspaths, gibbsite.	3-8
La ferrite (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	F	hématite, magnétite, goethite, limonite, sidérite.	1-6
La magnésie (MgO)	M	dolomite	0,1-4
Le trioxyde de soufre (SO <sub>3</sub> )	Š	la pyrite, le calcaire, l'argile, le charbon, le fuel, le gaz naturel.	1-3,5
L'oxyde de potassium (K <sub>2</sub> O)	K	l'argile, feldspaths.	0,5-1,3
L'oxyde de Sodium (Na <sub>2</sub> O)	Na	Agrile, feldspaths.	

### **I.9- Présentation de l'unité Saniak :**

La filiale Saniak a été créée en janvier 2002 et nommée ainsi : société de fabrication d'accessoires industriels et sanitaires du groupe BCR (fabrication de boulonnerie, coutellerie et robinetteries).

Elle fabrique des objets en acier doux et en laiton qui sont généralement exposés à un phénomène de corrosion. Pour confronter ce problème et aussi donner à ces objets un aspect décoratif, ces derniers subissent des traitements de surface et des revêtements métalliques par voie chimique ou électrochimique. On assiste à la phosphatation, le zincage et le chromage des différents objets (<http://www.bcr.dz>)

## **CHAPITRE II : Zone d'étude**

### **II.1 Identification et Situation géographique**

Les hautes plaines Sétifiennes font partie des hautes plaines constantinoises du Nord-est d'Algérie (DJIRAR, 2007). Elles se situent géographiquement entre 35°40' à 35°36' de latitude Nord et entre 5° et 6° de longitude Est.

Les hautes plaines Sétifiennes s'étendent de la plaine de Bordj-Bou-Arreridj à l'Ouest jusqu'à la plaine de Tadjenanet à l'Est, elles s'enferment dans les frontières naturelles, qui sont au Nord les premiers contre forts du massif des Babors et au Sud les monts Boutaleb.

La population d'Ain El Kebira est estimée à 36295 habitants répartie sur une superficie de 73 Km<sup>2</sup> avec une densité populaire égale à 497 hab/Km<sup>2</sup>.

#### **II.1.1- Présentation de la cimenterie d'Ain El Kebira**

La cimenterie est située à L'Est de la commune de Ouled Adouane et dont les coordonnées géographiques sont de 36°20' Nord 5° 27' Est et une altitude de 1040 mètres.

Couvrant une superficie de 60 hectares, la cimenterie se trouve à 20 Km au nord est du chef lieu de la wilaya de Sétif et à 7 Km au sud de la daïra de Ain El Kebira dont elle porte le nom (figures 4 & 4 bis). Elle tire ses principales matières premières à partir du gisement de djebel Medjounès. Ce gisement appartient au massif montagneux du Djebel Medjounès, caractérisé par un relief très prononcé, et qui s'étend sur environ 15 Km d'Est en Ouest, avec une largeur moyenne de 7 Km, atteignant une altitude de 1461 m au niveau du pic.

La population s'occupe de deux secteurs d'activité très importants : dans le domaine de l'agriculture est surtout céréalière avec une superficie utile de 2953h et l'activité industrielle constituée de deux unités : La société des ciments d'Ain El Kebira (SCAEK) est une filiale du groupe ERCE (groupe industriel et commercial - entreprise des ciments et dérivés de l'Est) et la Saniak du groupe BCR (fabrique la robinetterie : mélangeurs, mitigeurs, robinetterie de bâtiment et gaz).

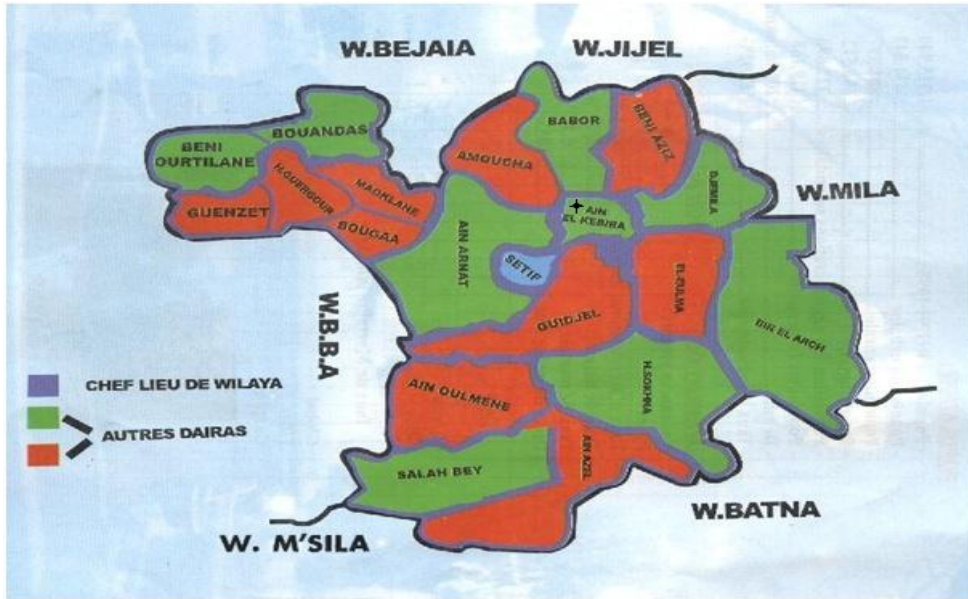


Figure 4 : Carte de la région de Sétif (DPAT, 2010)

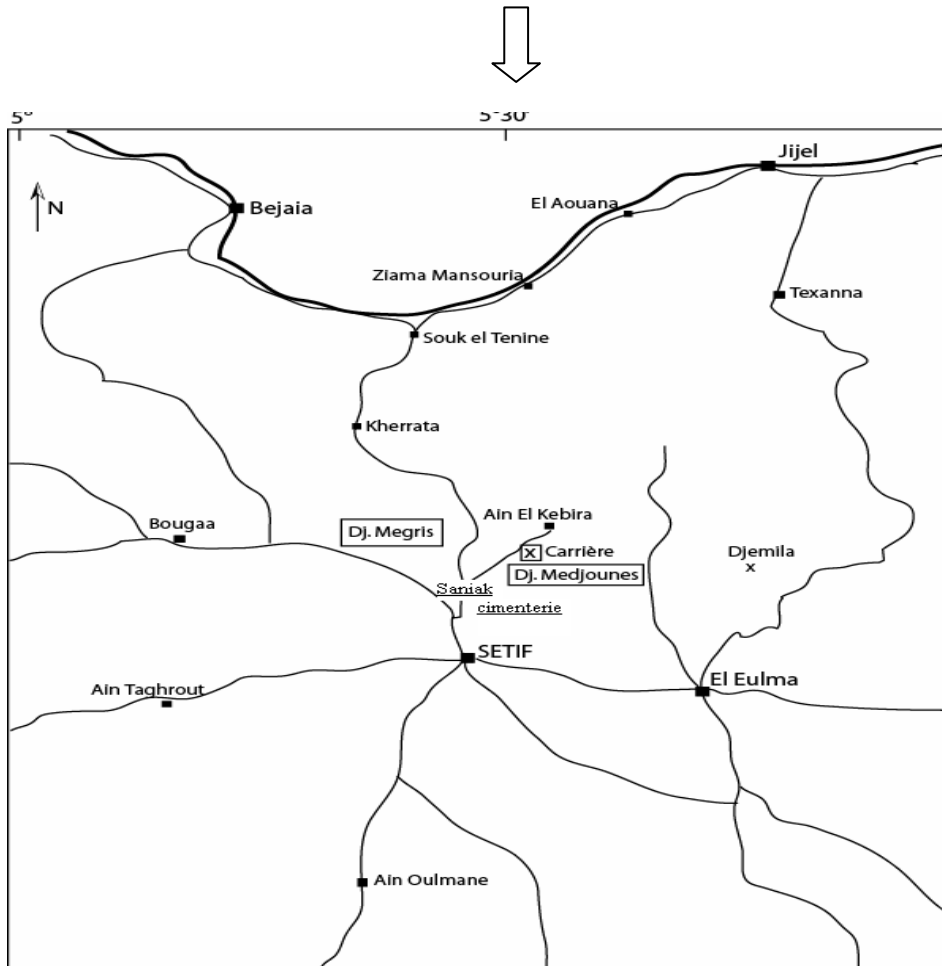


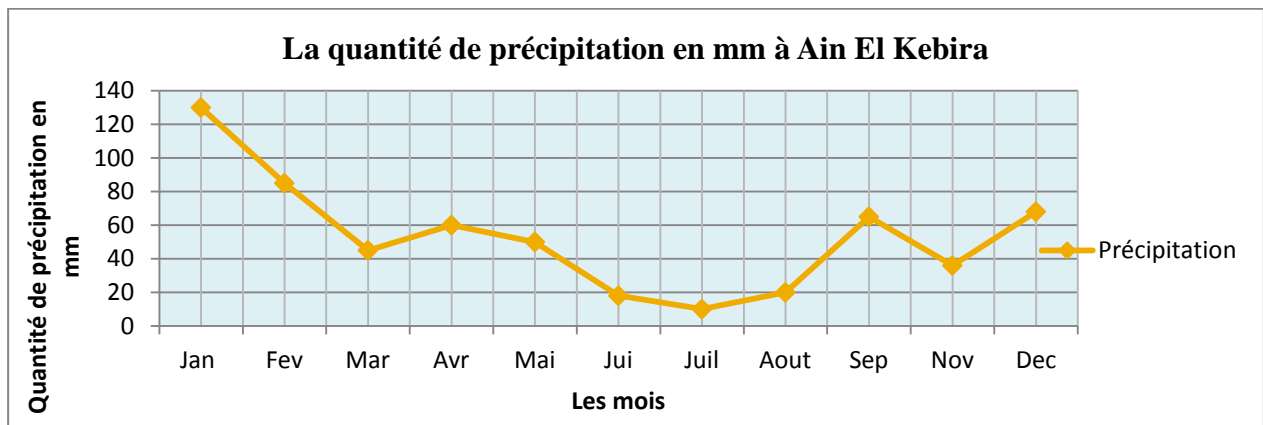
Figure 4'(bis) : Carte de la région de Sétif (DPAT, 2010)

## II.2- Le cadre climatique

Le climat constitue un facteur primordial. Il est de type méditerranéen continental avec une saison estivale longue, sèche et chaude, et une saison hivernale froide et pluvieuse. Pour illustrer le climat de la zone d'étude nous avons retenu comme référence les données du centre météorologique de Sétif (CMS). Ces données portent sur la période 1994-2010.

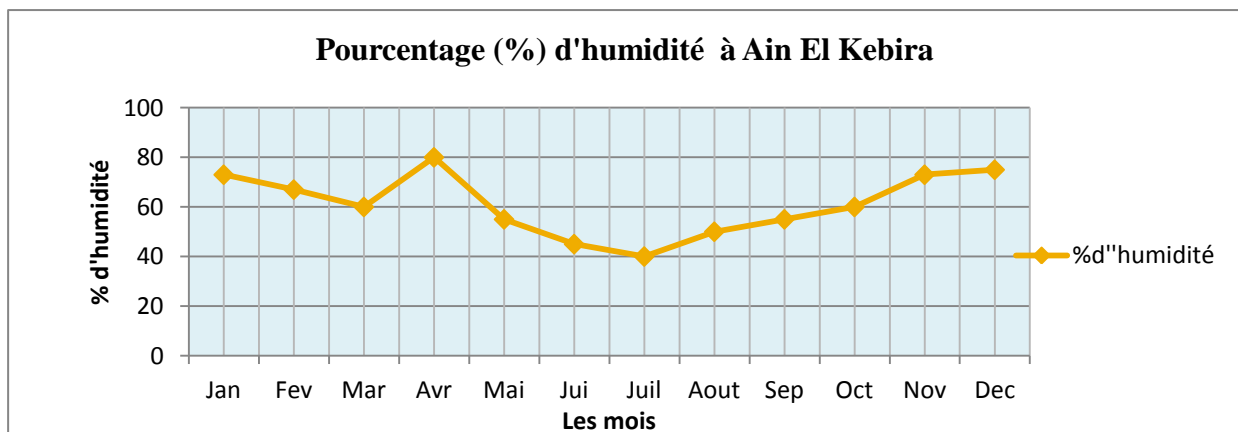
### II.2.1. Le régime pluviométrique

La pluviométrie est très irrégulière mais relativement importante. Elle se caractérise par des crues subites et des précipitations annuelles se situant autour de 600 mm, c'est une région plus arrosée par rapport à Sétif qui enregistre des précipitations annuelles moyennes de 450 mm représentées dans la figure 5.



**Figure 5 :** quantité de précipitations en mm à Ain El Kébira (1994-2010) source CMS.

La période la plus chaude de l'année correspond aux mois de Juin, Juillet et Août, le reste des mois de l'année représente la période humide. La figure 6 représente le pourcentage d'humidité dans la zone d'Ain El Kebira durant la période de 1994 à 2010.



**Figure 6 :** le pourcentage d'humidité à Ain El Kébira (1994-2010) source CMS.

### II.2.2- La neige- la gelée :

La région d'Ain El Kebira est une région montagneuse elle connaît un enneigement régulier pendant l'hiver avec environ 16 jours de neige/ans. Elle est connue aussi par ses gelées assez fréquentes, le mois de Janvier enregistre le plus grand nombre de jours de gelées. La moyenne annuelle est estimée à 47 jours de gelées par an.

### II.2.3- Température :

Les températures se distinguent par des variations fort importantes pouvant aller jusqu'à  $-10^{\circ}\text{C}$  en période hivernale et plus de  $40^{\circ}\text{C}$  en été. La période de froid et de basses températures est relativement courante (Figure 7).

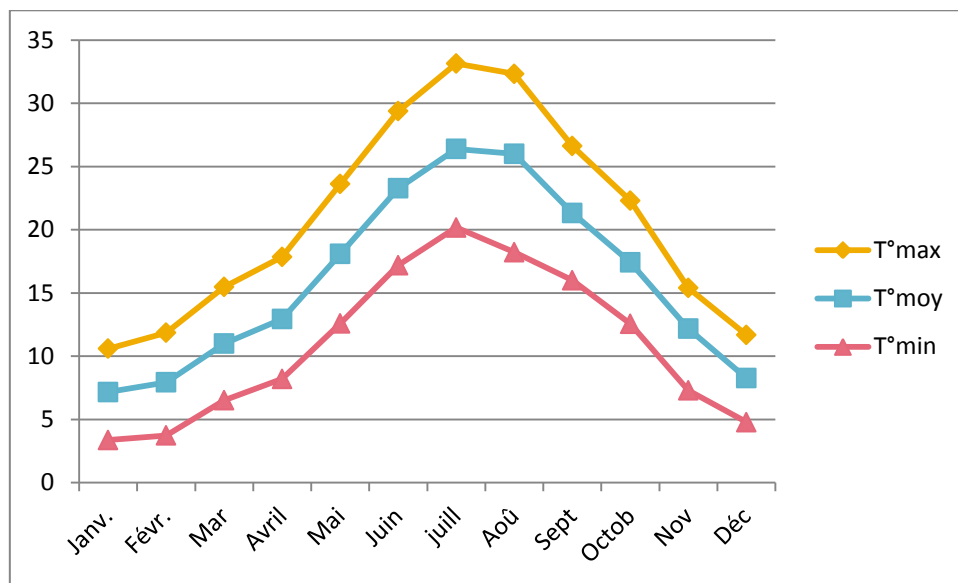


Figure 7 : La température en  $^{\circ}\text{C}$  à Ain El Kebira (2005-2010) source CMS.

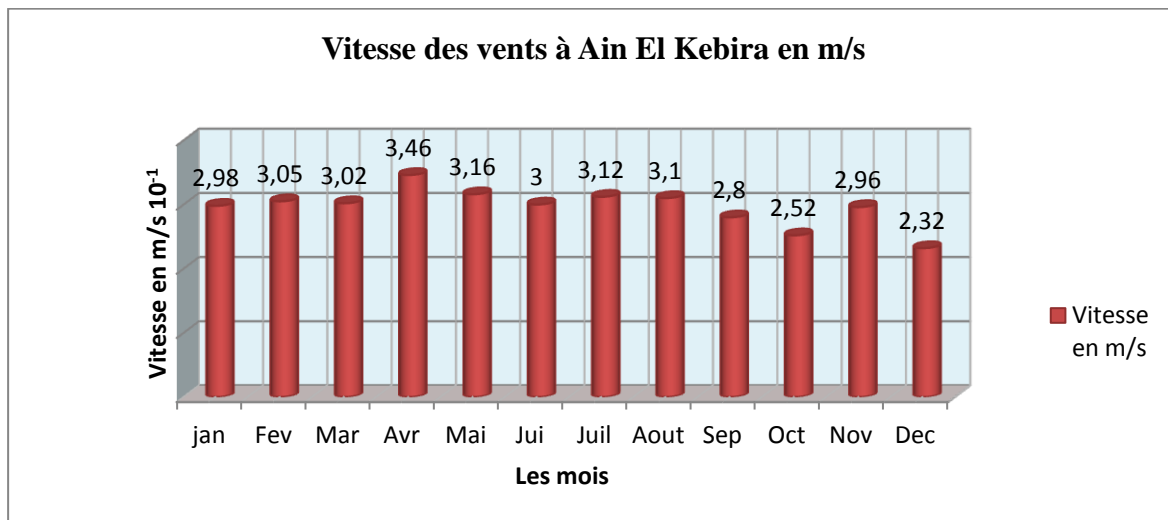
### II.2.4-. Le vent :

Le vent est l'élément du climat qui accentue les effets de la température par son rôle asséchant et augmente l'évapotranspiration. La direction et la force des vents sont étroitement liées à la morphogénèse. Les vents venant en prédominance du secteur Ouest peuvent être très froids pendant l'hiver. Dès le printemps et pendant l'été, la région subit des vents du Sud secs et chauds influençant de manière négative la végétation locale, provoquant une érosion importante et une réelle contrainte à la région pour l'implantation d'éventuelles unités industriellement polluantes ou susceptibles d'engendrer une quelconque pollution par les rejets gazeux ou fumées.



Le sirocco est fréquent et constitue l'un des types de vents dominants en Algérie. Il se caractérise par des températures anormalement élevées et une humidité de l'air très faible, ce vent souffle toujours du continent (Sud) vers la mer méditerranée.

Les vents d'Ouest (Gharbi), générateurs de pluies prédominant du mois d'octobre jusqu'au mois de février et les vents d'Est (Chergui), responsables de l'augmentation de la température, soufflent de mai à Octobre (Figure 8).



**Figure 8 :** La vitesse du vent à Ain El Kébira (2005-2010) source CMS.

### II.3 Synthèse bioclimatique:

D'une manière générale, le climat représente le facteur qui influe le plus sur le volume d'eau, une exploitation complète des données climatiques doit être réalisée pour définir le climat exact de notre zone d'étude, cela impose l'utilisation de quelques indices climatiques.

#### II.3.1. Quotient pluviométrique d'Emberger (1955):

C'est le calcul d'indice d'aridité annuelle en tenant compte des précipitations et de la température. Cet indice a pour but la détermination de l'étage bioclimatique.

$$Q2 = \frac{2000P}{(M^2 - m^2)}$$

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud (K°).

m : Moyenne des minima du mois le plus froid (K°).

$$1K = T^{\circ} + 273$$

En utilisant les deux valeurs « Q2 » et « T m », on se réfère au climagramme d'Emberger qui définit l'étage bioclimatique (figure 9). Ce dernier comporte un réseau de ligne séparatrice dans un espace orthonormé portant en ordonnées « Q2 » et en abscisse le « m ».

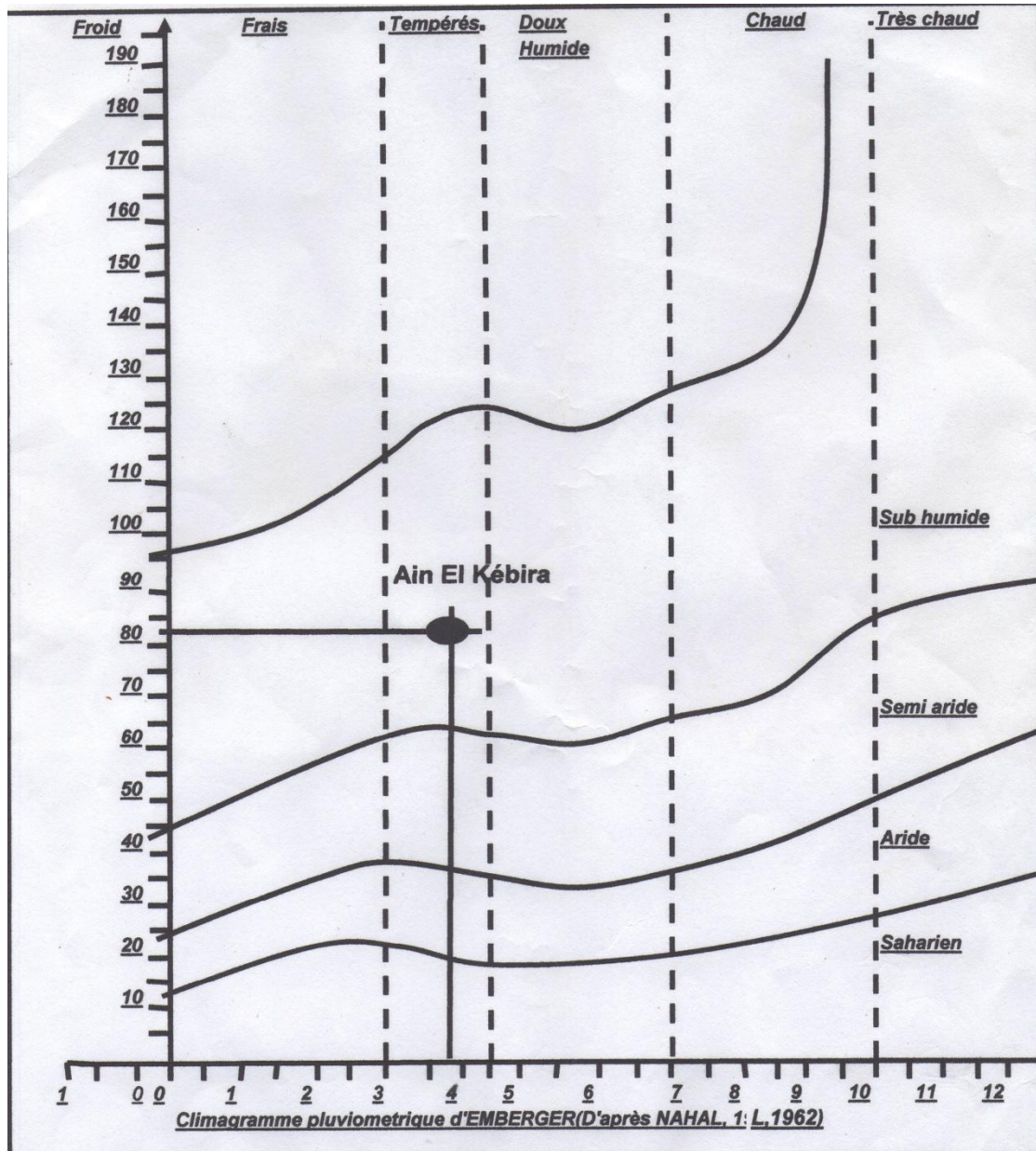


Figure 9 : Climmagrame d'Emberger

### II.3.2.- Diagramme ombrothermique:

Il définit le mois sec par la comparaison entre le total des précipitations de ce mois en mm et le double de sa température.  $P \leq 2T$

P : Précipitation mensuelle.

T : Température moyenne mensuelle.

D'après la formule, un mois est sec signifie que le total de précipitations est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle exprimée °C. Quand la courbe de température est au dessus de celle des précipitations, la zone délimitée indique la zone sèche. D'après le diagramme ombrothermique tracé (figure 10). Pour notre zone d'étude, il ressort une période sèche qui s'étale du mois de Mars jusqu'au mois d'Octobre (DJIRAR, 2007).

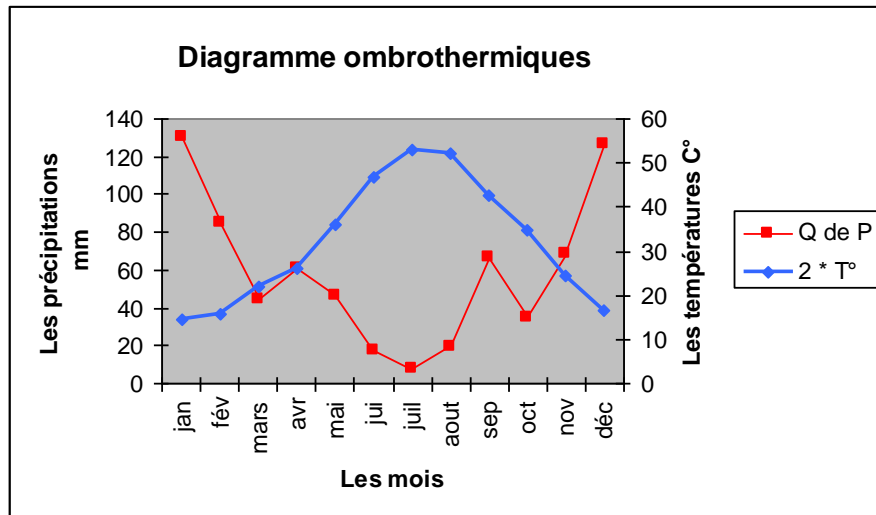


Figure 10: diagramme ombrothermique de la région d'Ain E L Kebira.

## II.4-- Réseaux hydrographiques:

Les oueds se caractérisent par un écoulement irrégulier conséquence des données climatiques et des précipitations, ils sont dans la majorité secs en été et parcouru par des crues violentes et fréquentes pendant la saison pluviale. Parmi les principaux oueds sont Oued Bouselam , Oued El Kebir , Oued Bou-Bellal et Oued Ez-zatine .

## II.5- Pédologie:

Sur la base des cartes pédologiques, établies en 1974 pour la région de Sétif par le bureau d'étude O.T.I (Officina Technica de Empresase Ingéniera) et l'étude Bechtel.

### II.5.1- Les sols :

#### II.5.1.1 - Les sols calcimagnésiques:

Sols dont l'évolution est marquée par la présence de calcaire sous plusieurs formes. Cette classe prédomine dans la région d'étude. Le calcaire commence à se manifester dans les horizons de surface dès la parallèle d'El-Ouricia jusqu'aux piémonts Nord de Boutaleb où

apparaissent les puissantes dalles calcaires. On n'y rencontre deux groupes:

\* Les rendzines: Sols peu développés, formés sur substratum calcaire tendre.

\*Les sols bruns calcaires: ce sont des sols caillouteux et peut riches en matière organique (DJIRAR, 2007 ; M'ZOUGHEM & CHENAFI, 2006).

#### **II.5.1.2. - Les vertisols:**

Sols profonds, ils sont caractérisés par la présence d'un taux élevé d'argile de couleur noire. Ils occupent une grande partie de la zone septentrionale de la région d'étude.

#### **II.5.1.3. - Les sols peu évolués:**

Ils sont définis comme étant des sols où l'altération ne fait que commencer :

\* Les sols peu évolués d'érosion: ce sont des sols de pente où le matériau vient d'être mis en place par l'érosion. Selon la nature du substratum, on distingue:

- Les regosols: Ils sont formés sur substrat tendre (calcaire-marneux et marnes) : dans la zone Nord de la région d'étude.

- Les lithosols: identiques aux précédents mais se forment sur un substrat dur calcaire.

\* Les sols peu évolués d'apport: selon l'origine de l'apport, on distingue deux groupes:

- Les sols peu évolués d'apport alluvial: ils constituent les dépôts des lits majeurs des oueds.

- Les sols peu évolués colluviaux: ce sont des sols de bas de pente (DJIRAR, 2007 ; M'ZOUGHEM & CHENAFI, 2006).

#### **II.5.1.4. - Les sols isohumiques:**

Ce sont des sols évolués. Leur développement est lié au système pédoclimatique. On les rencontre près de Melloul et de Salah-Bey (M'ZOUGHEM & CHENAFI, 2006).

#### **II.5.1.5- Les sols sesquioxydes de fer:**

Ce sont des sols évolués à individualisation de sesquioxydes de fer, d'où la coloration rougeâtre des horizons de surface. On les rencontre près d'El-Eulma et de Salah-Bey.

#### **II.5.1.6- Les sols halomorphes:**

Sols salés ou encore sols sodiques ; on rencontre ces sols dans la zone méridionale de la région d'étude: au Nord de Aïn-El-Hadjar, au Nord-Ouest d'Oum-Laadjoul et à l'Ouest de Sebkhata Melloul (M'ZOUGHEM & CHENAFI, 2006).

### **II.5.1.7- Les sols hydromorphes:**

Sols caractérisés par un déficit prolongé en oxygène, provoqué par une saturation temporaire ou permanente d'une partie ou de la totalité du profil par l'eau. Ils se localisent sur des faibles superficies près de Guellal et Aïn-El-Hadjar (M'ZOUGHEM & CHENAFI, 2006).

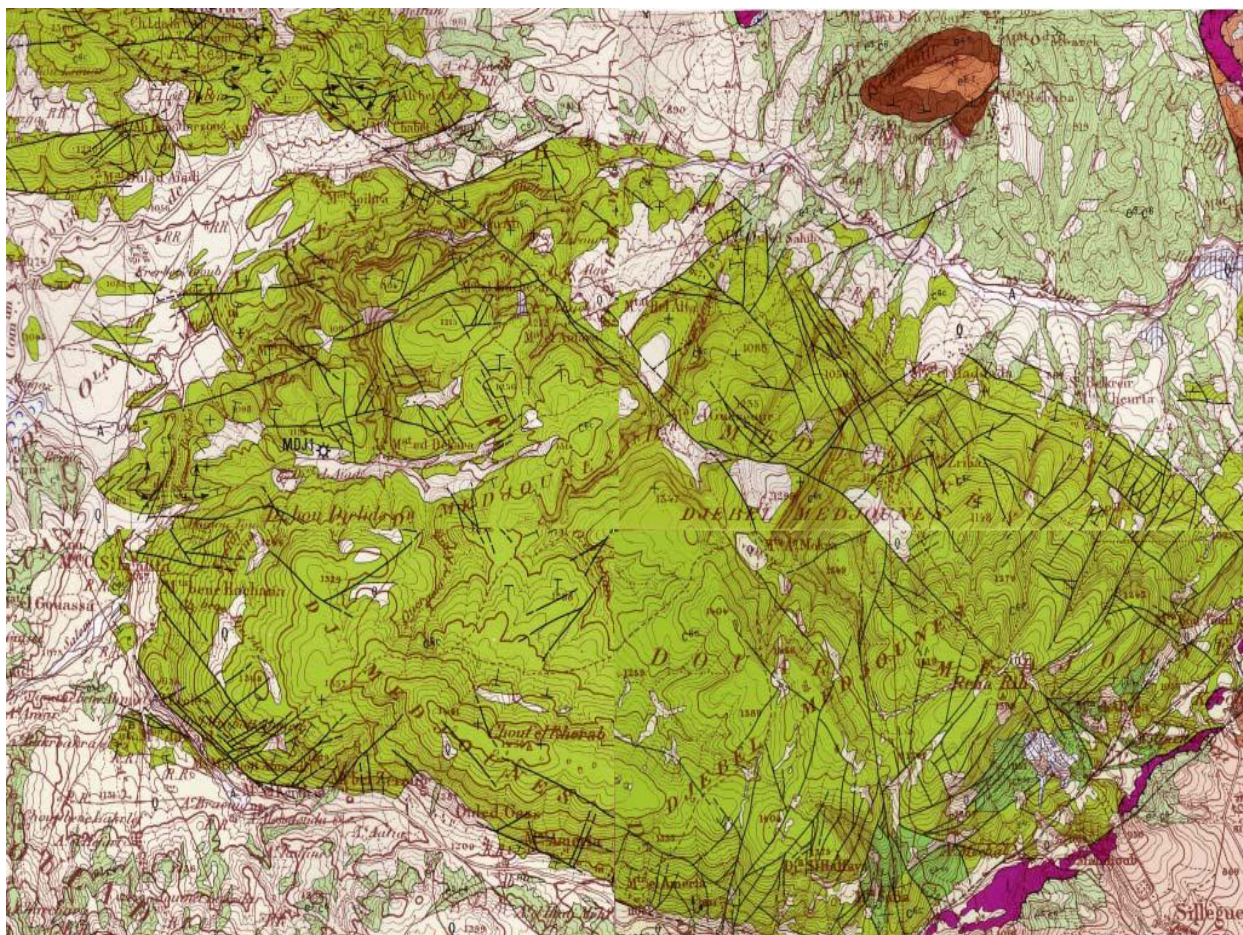
### **II.5.1.8- Les sols minéraux bruts:**

Les sols minéraux bruts se définissent par l'absence totale d'altération. Ils représentent les différents affleurements rocheux de la région d'étude. Le gisement appartient au massif montagneux du Djebel Medjounès, caractérisé par un relief très prononcé qui s'étend sur environ 15 Km d'Est en Ouest, avec une largeur moyenne de 7 Km, atteignant une altitude de 1245 m au niveau de la carrière et un sommet de 1461 m (TEDJAR, 2011).

## **II.5.2. Stratigraphie de la région du Djebel Medjounès**

La série stratigraphique du massif et de son voisinage comprend les formations sédimentaires du Trias, du Crétacé, du Tertiaire et du Quaternaire. Les formations du Crétacé et du Tertiaire appartiennent à la nappe de Djemila qui couvre des surfaces considérables sur la moitié nord de la carte géologique de Sétif (figure 11). Le sondage réalisé sur le flanc ouest du Djebel Medjounès donne une coupe stratigraphique du massif (M'ZOUGHEM & CHENAFI, 2006).

↑ N



**Figure 11.** Carte géologique de la région d’Ain El Kebira et Djebel Medjounès,  
au 1/50000 (M’ZOUGHEM & CHENAFI, 2006).

### II.5.2. 1- Le Trias

Au pied du Djebel Medjounès (dans sa partie Sud-est) affleure le Trias sous forme d’un amas composé d’argiles bariolées, de gypses roses ou rouges et de gros blocs de cargneules et de calcaires dolomitiques (M’ZOUGHEM & CHENAFI, 2006).

### II.5.2. 2- Le Crétacé

Les roches du Djebel Medjounès appartiennent en majeure partie au Crétacé Supérieur. On distingue les séries suivantes :

- Marnes noires du Campanien-Maestrichtien inférieur : cette formation affleure sur le flanc sud-est du Djebel Medjounès. Elle est constituée de marnes noires à boules jaunes.
- Calcaires bien réglés (dits du Matrouna et du Dj. Medjounès) du Campanien supérieur et Maestrichtien :

Il s’agit d’une puissante série (250 m d’épaisseur) de calcaires massifs noirs bien lités en alternance avec des bancs marneux très minces. Les calcaires sont lités en bancs métriques

groupés en barres bien individualisées atteignant 80 m d'épaisseur. Le gisement calcaire étudié dans ce travail appartient à cette série.

- Marnes noires du Maestrichtien supérieur à Paléocène : cette série, qui affleure au pied du Djebel Medjounès, est composée de marnes noires, toujours très froissées, parfois à boules jaunes. Les marnes de cette série qui affleurent au voisinage de la carrière de calcaire sont exploitées pour l'alimentation de la cimenterie (M'ZOUGHEM & CHENAFI, 2006).

### **II.5.2. 3- Le Tertiaire**

Sur le flanc nord du Djebel Medjounès, les marnes noires du Maestrichtien supérieur Paléocène passent sans lacunes stratigraphiques à des calcaires bitumineux blancs de l'yprésien lutétien inférieur. Cette série est couronnée par des marnes noires ou gris à boules jaunes du Lutétien (M'ZOUGHEM & CHENAFI, 2006).

### **II.5.2. 4- Le Quaternaire**

Les sédiments quaternaires ne s'observent que localement et pour la plupart avec une faible puissance.

## **II.5.3 Le milieu agricole**

L'agriculture de la région des hautes plaines Sétifiennes est essentiellement céréalière: Selon BJAODT (1994), la superficie agricole utile (SAU) dans la wilaya de Sétif est de 35391 ha, soit 75,8% des terres utilisées par l'agriculture(TUA). Les céréales (blé, orge et avoine) prédominent et occupent près de 42,5% de la SAU, soit 150.200ha, Chaque année près-de 128.240 ha sont laissées en jachère soit 36,3% de la SAU.

L'agriculture fruitière localisée dans les zones montagneuses Nord (Bougâa, Beni-Aziz), couvre une faible superficie de 21.079 ha, soit 5,9% de Le reste de la superficie agricole utile est partagé entre les cultures maraîchères et les cultures fourragères, près des points d'eau et sur les bords des oueds (TEDJAR, 2003).

## **II.5.4 – Le couvert forestier:**

La superficie de la Wilaya est de 650000 ha dont 102000 est forestière soit 15%. Ces formations sont localisées, pour la plupart en régions montagneuses. Elles sont représentées essentiellement par la forêt de Tamentout d'une superficie de 3170 ha (chêne liège et pin d'Alep), la forêt de Babors qui couvre 2400 ha (Chêne zeen, Pin d'Alep et Cèdre) et la forêt de Boutaleb qui occupe près de 28400 ha (Pin d'Alep, Chêne vert et Cèdre).

Les maquis dessinent souvent des auréoles à l'intérieur et autour des massifs forestiers, comme eux, ils constituent un pacage pour le cheptel, en même temps qu'un fournisseur en bois pour usage domestique (TEDJAR, 2003).

**Essences essentielles sont représentées dans la wilaya de Sétif par :**

Le pin d'Alep ( <i>Pinus halepensis</i> Mill) 47310 ha	Le chêne vert ( <i>Quercus ilex</i> ) 33831ha
Le genévrier ( <i>Juniperus oxycedrus</i> ) 8042 ha	Le cèdre ( <i>Cedrus atlantica</i> ) 4262 ha
Le cyprès ( <i>Cupressus sempervirens</i> L). 3652 ha	L'olivier <i>Olea europaea</i> L. 2240 ha
Le chêne liège ( <i>Quercus liber</i> ) 1628 ha	

L'occupation spatiale de la commune est dominée par des terres agricoles, parcours, maquis et forêts avec une superficie totale de 5887 ha. La superficie agricole utile représente 3800 ha. L'occupation des sols agricoles est à vocation de cultures à prédominance céréalière, fruitières, des reboisements et des prairies (DPAT, 2010).



## CHAP III -Matériel et méthodes

### III.1- Choix des stations d'échantillonnage

#### III.1.1 Analyses des poussières

Nous avons choisi 6 stations équidistantes de 500m réparties autour de la cimenterie. Les prélèvements ont été effectués au niveau de ces stations du mois de janvier au mois de juin 2006 avant le démarrage du filtre à manche à raison d'un prélèvement bimensuel et du mois de février au mois de mai 2007 après sa mise en service.

- ❖ Délimiter les zones d'impacts majeurs de rejet des poussières par la cimenterie.
- ❖ Evaluer le degré de pollution particulaire de la cimenterie.
- ❖ Connaître la dispersion des particules selon leur diamètre.

Ce travail très complexe a été effectué grâce à l'installation de dispositif particulier de Jauges Owen en 6 points différents répartis tout autour de la cimenterie et dont le but est de recueillir chaque mois des échantillons qui nous permettront de mesurer les flux des retombées atmosphériques particulaires et leur contenu métallique.

Nous avons récolté 181 échantillons pour analyses granulométriques et physico-chimiques.

#### **\*Stations d'échantillonnage des poussières émises par la cimenterie :**

**Station A:** Se situe à 500 m au Nord de la cimenterie.

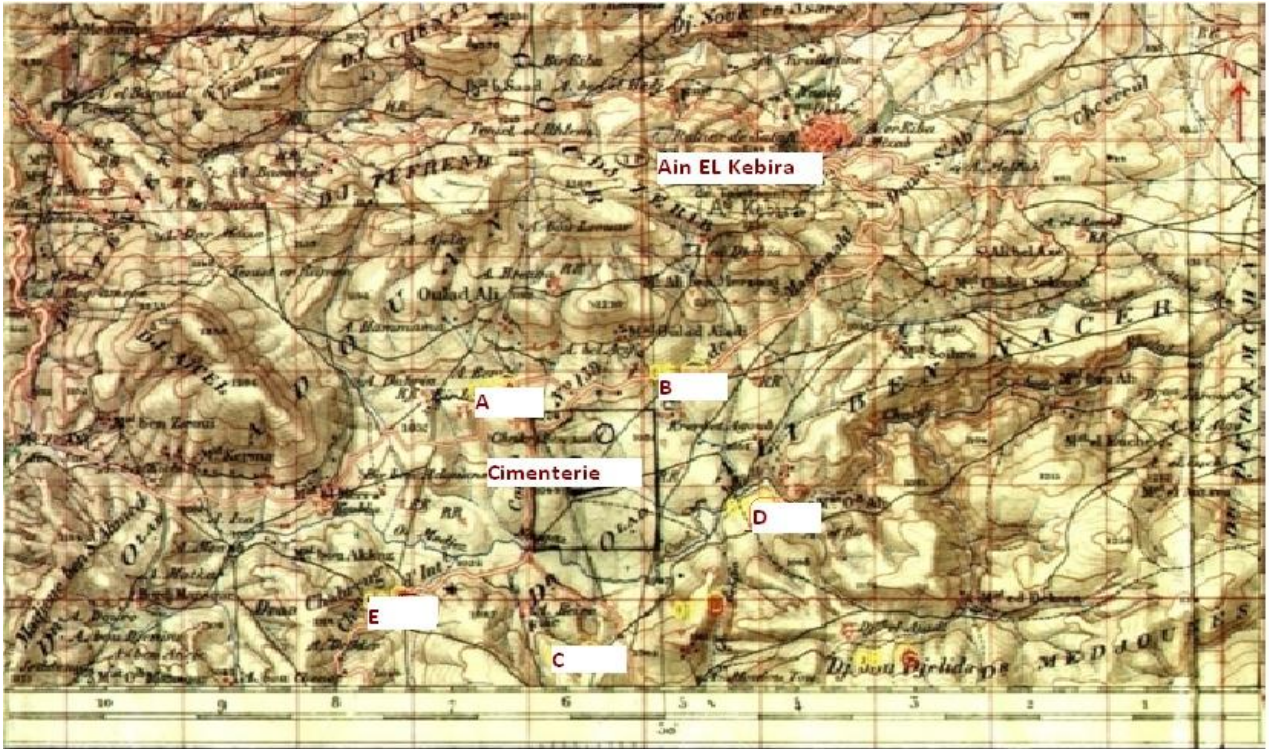
**Station B:** Est à 500 m au Nord-est de la cimenterie.

**Station C:** Se trouve à 500 m au Sud de la cimenterie

**Station D:** La distance est évaluée à 500 m à l'Ouest de la cimenterie.

**Station E:** localisée à 500 m au Sud- est de la cimenterie.

**Station F :** se trouve à Megress ; station témoin



**Figure 12** : Stations d'échantillonnage inhérentes aux poussières émises par la cimenterie (Echelle : 1/50 000)

### III.1.2- Reboisement d'EL Guettar (Pin d'Alep)

Nous avons effectué des prélèvements d'aiguilles, de cônes et d'écorces sur cinq individus de pin d'Alep choisis aléatoirement au sein du reboisement d'El Guettar à différents endroits au niveau du Djebel Ain Esatha. L'occupation spatiale du reboisement est dominée par le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) mais on peut trouver quelques espèces comme le frêne (*Fraxinus angustifolia*), le chêne vert (*Quercus ilex*) et le cyprès (*Cupressus sempervirens*).

Notre étude est consacrée à l'évaluation des concentrations des métaux lourds dans la région d'Ain el Kebira, dont on a utilisé le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) comme bio indicateur de pollution dans les stations situées à différents points dans le reboisement d'El Guettar soit de la lisière vers l'intérieur, la cimenterie, la Saniak, et un reboisement dans la région de Megress comme station témoin.

Nous avons prélevé aux fins d'analyses 300 échantillons du milieu.

**\*Stations d'échantillonnage du reboisement d'EL Guettar :**

Station N°1 : Ras Eroumia

Station N°2 : Azlet El BEL

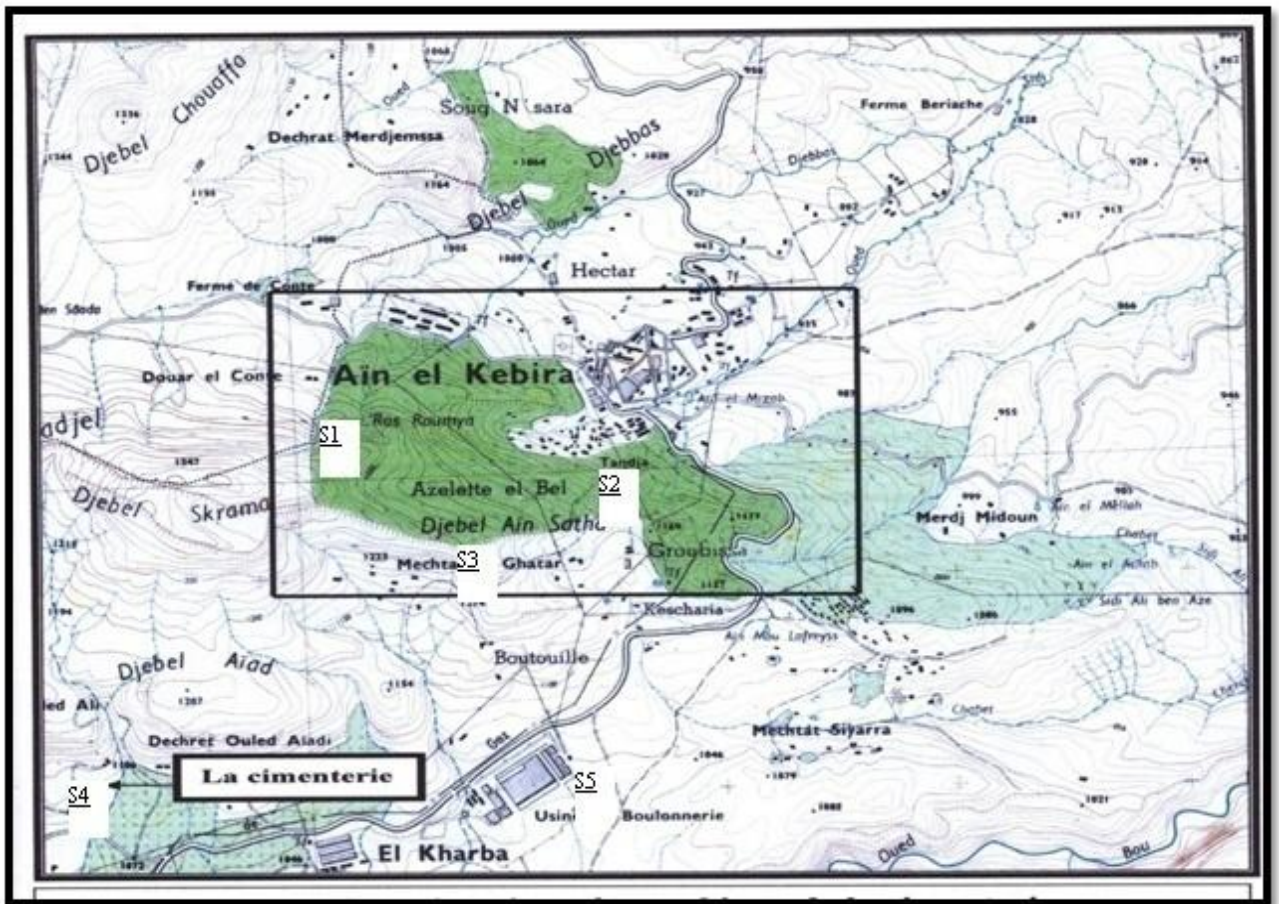
Station N°3 : Lisière du reboisement d'EL Guettar (RN°9 B)

Station N°4 : Usine Cimenterie

Station N°5 : Usine Saniak (intérieur)

Station N° 6 : se trouve à Megress ; station témoin

N ▲



**Figure 13 :** Stations d'échantillonnages reboisement EL Guettar  
(Échelle 1/50000)

### III.1.3- Analyse du Sol

#### Choix des stations :

Notre travail a porté sur l'analyse des paramètres physicochimiques et les métaux lourds dans le sol.

Des prélèvements trimestriels ont été effectués au niveau de 05 stations dans le périmètre de la zone industrielle d'Ain El Kebira durant les années 2006, 2007 et 2008.

Les analyses des oxydes ont été effectuées dans 02 stations, l'une située à 100 m à l'Est de la cimenterie par contre l'autre plus loin à 1000 m située dans une zone céréalière.

Une station témoin a été choisie près de la retenue collinaire d'Ouled Adouane.

#### \*Stations d'échantillonnage du sol :

Station 1 Située au niveau de la carrière de Djebel M'Djounes.

Station 2 proche de la cimenterie et en amont d'Oued Ezzatine.

Station 3 se trouve entre la jonction des rejets cimenterie et rejets El Kharba.

Station 4 est située après la réunification des rejets de la cimenterie et de la Saniak.

Station 5 c'est au niveau du point de rejets de la saniak.

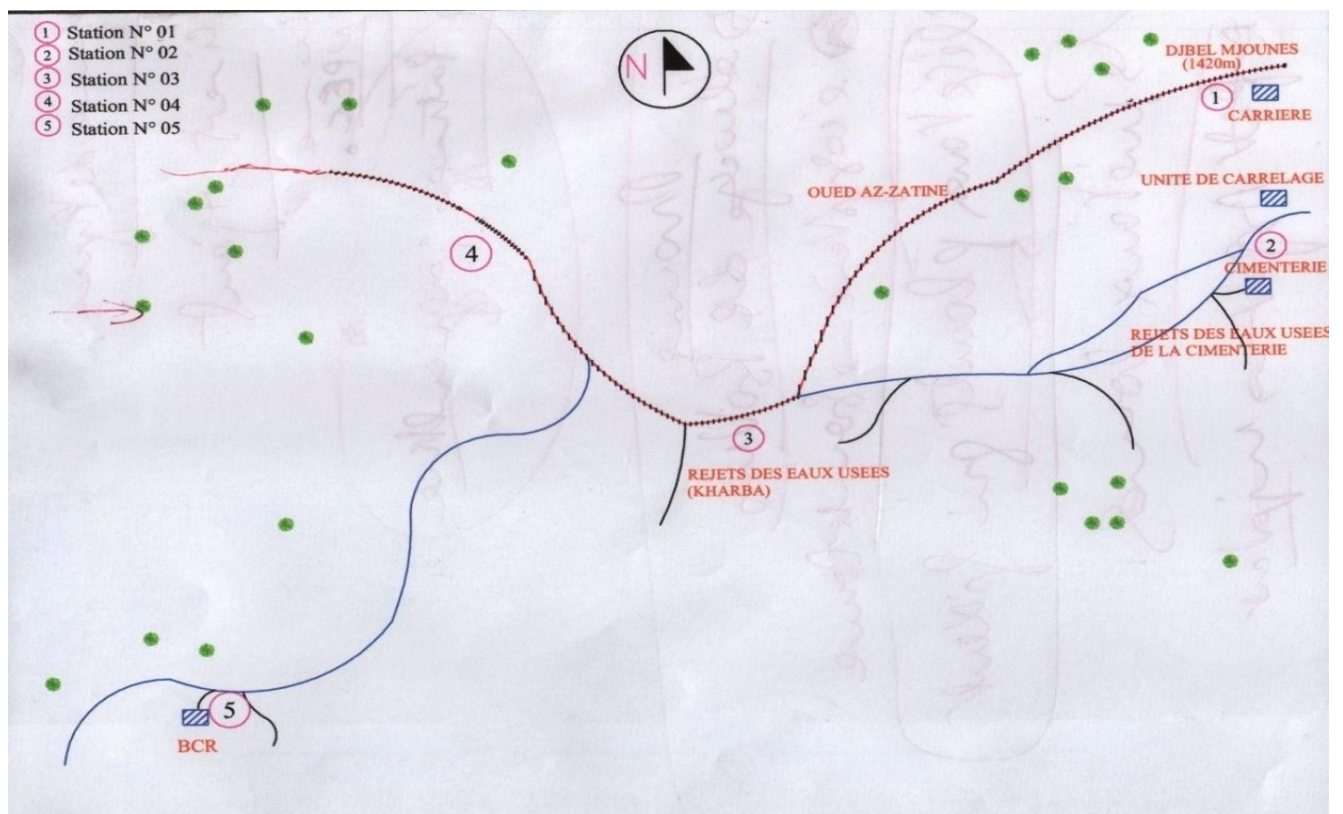


Figure 14 : graphique des stations d'échantillonnage du sol

### III.1.4- Analyse des eaux

#### III .1.4.1 Eaux superficielles d'Oued Ezzatine

##### Le choix des stations :

Notre travail a consisté à analyser les eaux d'Oued Ezzatine durant les années 2007/2008 et 2009 à raison d'un prélèvement par trimestre.

Notre zone d'étude a été divisée en 06 stations soit 71 échantillons.

##### \*Stations d'échantillonnage d'Oued Ezzatine

**Station 1** : A 50m après la station broyage et concassage.

**Station 2** : Le point de rejets Est de la cimenterie.

**Station 3** : Le point de rejets de l'usine de carrelage, à 400 m au Sud de la cimenterie

**Station 4** : le point intermédiaire entre la cimenterie et les unités carrelage (Oued Ezzatine).

**Station 5** : Le point de rejets de la Saniak.

**Station 6** : En aval des rejets , la Saniak et la cimenterie dans l'Oued en direction Nord.

**Remarque** : Aucun rejet de la station 2 située à l'Est de la cimenterie durant l'année 2008 n'a été observé en raison de l'absence de rejets résiduels du bloc administratif.

N▲

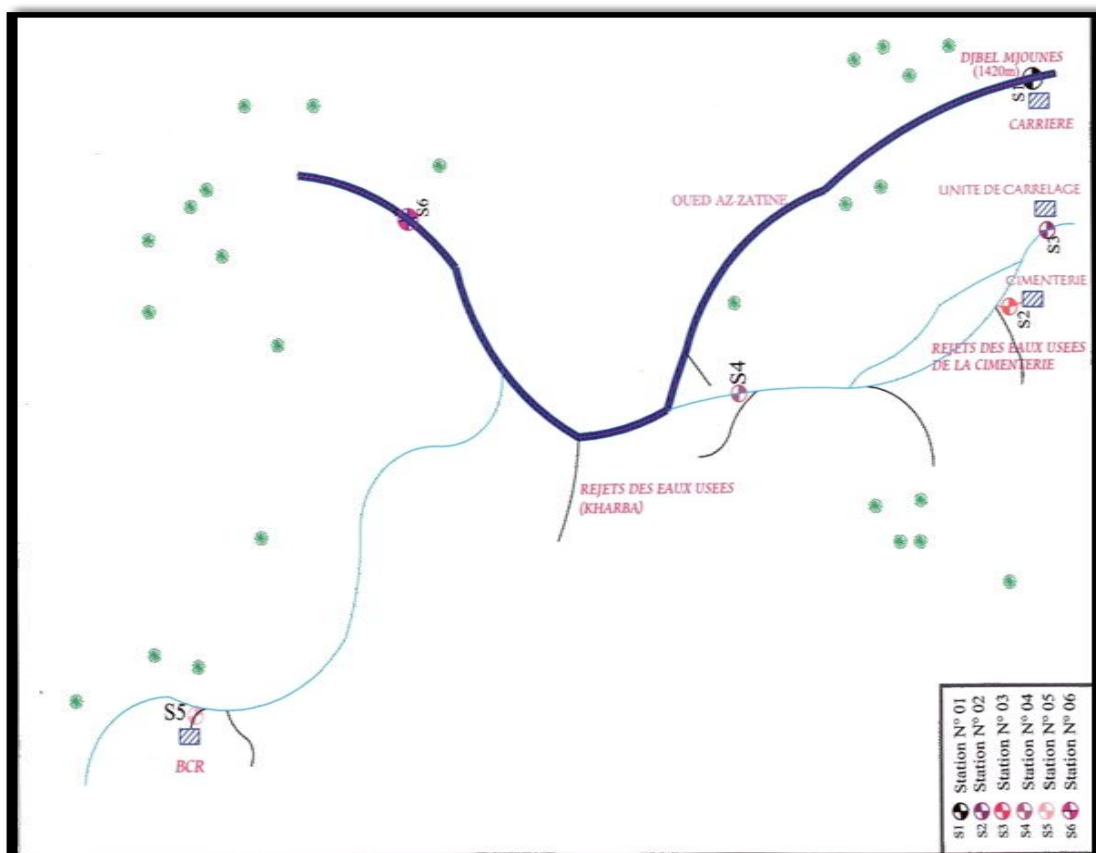


Figure 15 : graphique représentant les stations d'étude des eaux souterraines

### **III.1.4.2- Eaux souterraines**

Une 1<sup>ère</sup> série de prélèvements a été choisie dans le périmètre de la zone industrielle et est représentée par 06 stations, du mois de mars au mois d'octobre de l'année 2007 à raison d'un prélèvement par bimestre.

Une 2<sup>ème</sup> série de prélèvements du mois de Décembre 2007 au mois de juillet 2008 à raison d'un prélèvement par bimestre seulement au niveau des quatre premières stations (S1 ; S2 ; S3 et S4).

#### **\*Stations d'échantillonnage des eaux souterraines :**

**\*Station 1** : El Kherba à 1000 m à l'Est de la Saniak; un puits d'un particulier utilisé comme source d'eau potable.

**\*Station 2** : 500 m Nord-Est de la Saniak, il s'agit d'un puits particulier non contrôlé l'A.D.E.

**\*Station 3** : 500 m à l'Est de la cimenterie, un puits non contrôlé par l'A.D.E.

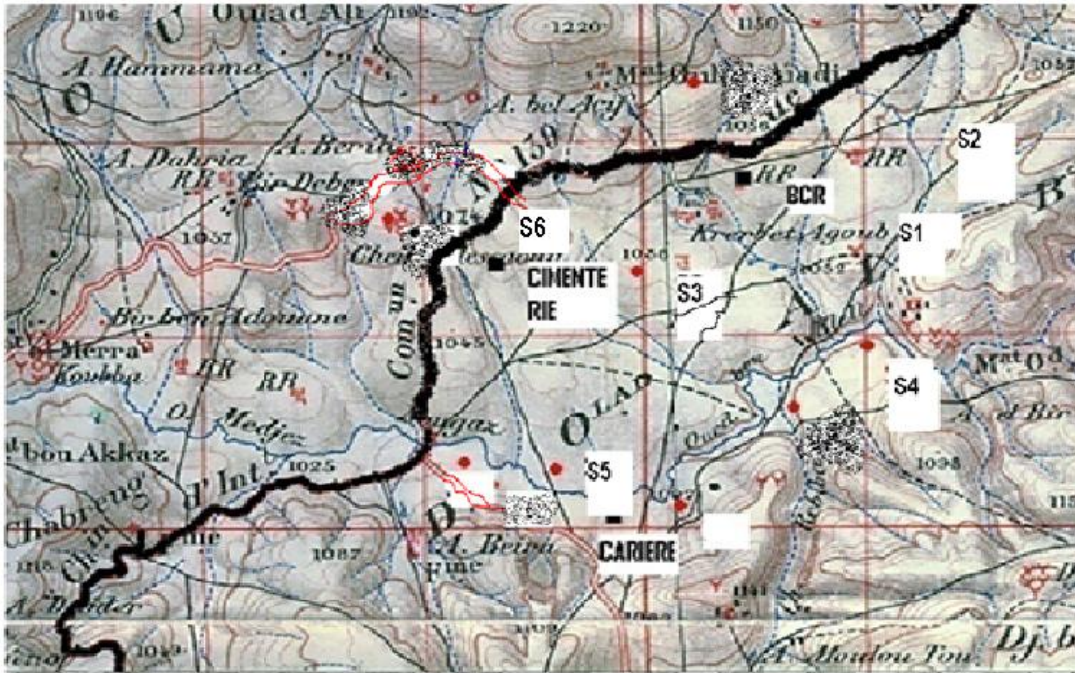
**\*Station 4** : 1000 m à l'Est de la cimenterie sur la route de la carrière de Djebel Medjounès.

**\*Station 5** : 500 m au sud de la cimenterie, il s'agit d'un forage d'une profondeur de 115m.

**\*Station 6** : 750 m à l'Ouest de la cimenterie.

Une 1<sup>ère</sup> série de prélèvements a été choisie dans le périmètre de la zone industrielle et est représentée par 06 stations, du mois de mars au mois d'octobre de l'année 2007 à raison d'un prélèvement par bimestre.

Une 2<sup>ème</sup> série de prélèvements du mois de Décembre 2007 au mois de juillet 2008 à raison d'un prélèvement par bimestre au niveau des quatre premières stations.



**Figure 16** : carte représentant les stations d'étude des eaux souterraines  
(Échelle 1/50000)

### III.1.5 Station nouveau-nés

L'objectif de notre travail consiste à évaluer l'effet de pollution atmosphérique par les poussières occasionnées par la cimenterie sur le poids, taille et périmètre crânien des nouveaux-nés des différentes régions qui entourent la cimenterie.

#### \*Les stations d'échantillonnage :

- Station1 : **Ain Touilla**
- Station2 : **El Kharba**
- Station3 : **Ouled Adouane**
- Station4 : **Ain Arnat : témoin**



**Figure 17 :** Représentation des stations d'étude (Google MAP 2012)

## III.2- Matériels et méthodes

### III.2.1- L'analyse des poussières du ciment au rayon Laser

#### III.2.1.1 Principe de la méthode (jauge Owen)

La jauge Owen ou le collecteur de précipitations est un dispositif destiné à recueillir les retombées atmosphériques (Norme NF X 43.006).

Les retombées représentent la masse de matières déposées par unité de surface selon un temps bien déterminé. Le collecteur est un récipient d'une capacité suffisante pour recueillir les précipitations de la période considérée.

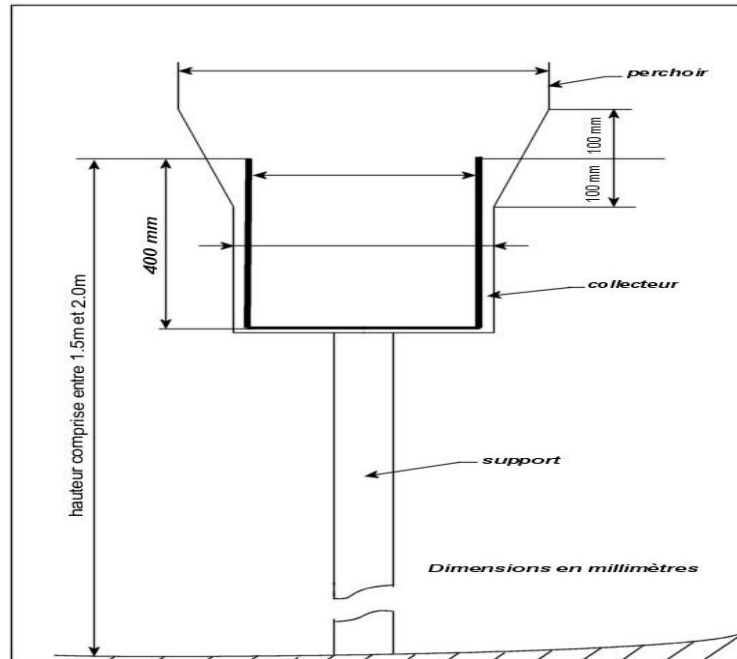
Il est muni d'un entonnoir de diamètre connu et une surface de récolte de poussière de 0,0314 m<sup>2</sup>. Le dispositif est placé à une hauteur variant entre 1,5 m et 3 m. La durée d'exposition du collecteur est de 15 jours à un mois. Cette durée peut être allongée en fonction des quantités à récupérer (BOUMEGOURA & HABBAS, 2003).

La jauge est installée dans un milieu dégagé et à une hauteur d'au moins deux mètres.

Le prélèvement est réalisé en le mélangeant avec de l'eau afin de récupérer la totalité des particules.

Avant d'effectuer les différentes analyses l'échantillon est déposé dans une étuve et séché à 100 °C.





**Figure 18.** La jauge de dépôt selon les normes AFNOR (NF X 43-006)  
(BOUMEGOURA & HABBAS, 2003).

Dans un premier temps nous avons effectué des analyses sur les poussières récupérées au niveau des filtres du four et des autres ateliers. Ces poussières ont été mises en solution pour analyse.

En second on a procédé à l'analyse des poussières prélevées au niveau des jauges.

Les analyses des composés contenus dans les poussières ont été effectuées selon une méthode classique dite complexométrie (BOUMEGOURA & HABBAS, 2003).

### III.2.2.2 - Méthodes d'analyses des composés de la poussière et du ciment (la complexométrie).

#### A- Mise en solution d'un cru de poussières :

- Peser 1g de poussières dans une balance analytique.
- Verser dans une capsule en porcelaine.
- Ajouter 30 ml d'eau distillée et 10 ml d'acide nitrique.
- Chauffer à l'aide d'une plaque chauffante pendant ¼h (bain de sable).
- Filtrer dans une fiole de 100ml (filtre rapide).
- Ajouter de l'eau distillée chaude jusqu'à 100 ml.
- Jauger.

### **B- Mise en solution d'un cru de ciment**

- Peser 0,5g du cru à analyser le mettre dans un creuset en platine.
- Ajouter environ 10g de carbonate de sodium.
- Mettre le creuset dans le four à 1000°C pendant 15min.
- Après fusion laisser le creuset refroidir.
- Mettre le creuset dans une capsule en porcelaine pour la mise en solution.
- Verser de l'eau distillée dans le creuset puis ajouter 10ml de HCl au fur et à mesure jusqu'à dissolution complète.
- Mettre la capsule sur le bain de sable jusqu'à l'obtention d'une pâte gélatineuse.
- A l'aide de l'eau, filtrer dans une fiole de 500ml.

### **C- Mise en solution d'un ciment**

- Peser 0,5g de matière puis l'introduire dans une capsule en porcelaine.
- Ajouter 2ml d'eau distillée et 5ml d'acide perchlorique.
- Mettre au bain de sable la capsule en agitant de temps à autre jusqu'à l'obtention d'une pâte gélatineuse.
- Ajouter 10ml d'HCl.
- Filtrer la solution en ayant le soin de bien filtrer la capsule et de bien laver le filtre dans une fiole de 500ml.

### **D- Détermination de la perte au feu**

- Peser 2g de matière les introduire dans un creuset en platine : taré P1
- Mettre le creuset au four pendant 15min à 1000°C.
- Refroidir et peser : P2.

Elle permet d'évaluer les taux de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO et SO<sub>3</sub> par le dosage à l'aide d'un complexant chimique qui est l'EDTA.

L'analyse du diamètre des poussières a été effectuée par granulométrie à rayon laser.

Le dosage des métaux lourds tels que: Le fer, le plomb, le cadmium, le cuivre et le zinc a été effectué par la méthode de spectrométrie d'absorption atomique (ARQUES, 1998 ; BOUMEGOURA & HABBAS, 2003).

Les résultats des analyses des composés contenus dans les poussières sont exprimés selon les formules suivantes :

- **Détermination de la chaux**

$$\% \text{ CaO} = T'_{\text{EDTA}/\text{CaO}} \times V_{\text{EDTA}} \times V_{s1} \times 100 \times F_c / V_{s2} \times M$$

**V<sub>s1</sub>** : Volume du filtrat 500ml.

**V<sub>s2</sub>** : Volume prélevé du filtrat 100ml.

**M** : Masse de la matière pesée 0,5g.

**F<sub>c</sub>**: Facteur de correction.

**T'EDTA/CaO**: Titre EDTA / CaO théorique = 2g /l.

**V EDTA**: Volume EDTA verser.

- **Détermination de la teneur en SiO<sub>2</sub>**

$$\% \text{ SiO}_2 = [(P1 - P2) \times 100] / m$$

**m** : Poids de l'échantillon.

- **Détermination de la teneur en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

$$\% \text{ Fe}_2\text{O}_3 = T'_{\text{EDTA} / \text{Fe}_2\text{O}_3} \times V_{\text{EDTA}} \times V_{s1} \times 100 \times F_c / V_{s2} \times M$$

**T'EDTA / Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** = 20857 g/l.

- **Détermination de la teneur MgO**

$$\% \text{ MgO} = T'_{\text{EDTA} / \text{MgO}} \times V_{\text{EDTA}} \times V_{s1} \times 100 \times F_c / V_{s2} \times M$$

**V EDTA** = V<sub>1</sub> - V<sub>2</sub>.

**T'EDTA / MgO** = 1,44 g/l.

**V<sub>1</sub>** : Volume EDTA qui a servi à doser CaO.

**V<sub>2</sub>** : Volume versé lors du dosage.

- **Détermination de la perte au feu**

$$\% \text{ perte au feu} = [(P1 - P2) \times 100] / 2$$

- **Détermination de la teneur Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

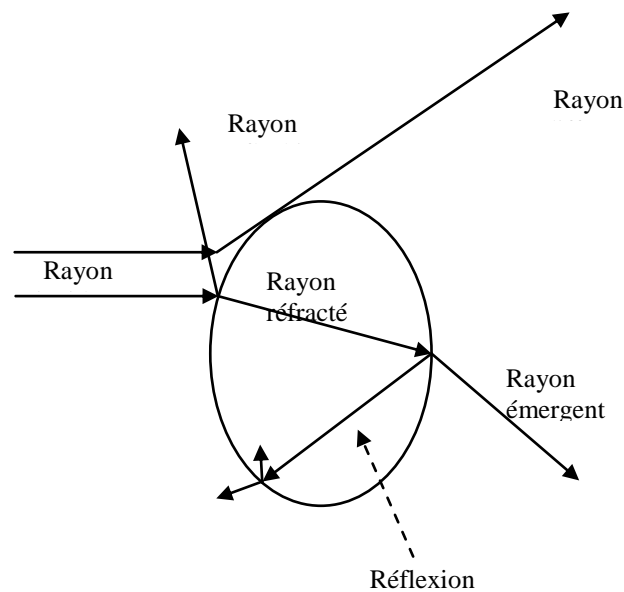
$$\% \text{ Al}_2\text{O}_3 = T'_{\text{EDTA} / \text{Al}_2\text{O}_3} \times V_{\text{EDTA}} \times V_{s1} \times 100 \times F_c / V_{s2} \times M$$

**T'EDTA / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** = 1,836g/l.

### III.2.2.3 - Description de la granulométrie à rayon laser :

L'essai consiste à envoyer un rayon laser (He - Ne) sur les particules de ciment. La particule qui passe à travers ce champ va diffracter le rayon selon un angle qui dépend de son propre

diamètre (la particule). Les grosses particules diffractent la lumière selon un angle faible, tandis que les petites particules diffractent le rayon selon un angle plus grand.



**Figure 19.** Principe de la granulométrie à rayon laser

### III.2.2 Analyse des métaux lourds dans le pin d'Alep

#### III.2.2 .1- Le potentiel Hydrogène du sol du reboisement d'EL Guettar

Le pH indique la concentration en ions présents dans le sol, il est d'une grande importance pour la fertilité particulièrement pour sa capacité à mettre des substances nutritives à la disposition des plantes nourricières.

- Mettre 10g de chaque échantillon de sol tiré des stations dans un bêcher de 100ml.
- Ajouter 50ml d'eau distillée.
- Faire agiter sur un agitateur pendant 2mn et laisser reposer 30mn.
- Etalonner le pH mètre.
- Mesurer le pH de chaque échantillon à l'aide de l'appareil de type WTW 521(RODIER., 2005).

#### III.2.2. 2-détermination de la conductivité électrique

La conductivité est la propriété que possède une suspension à favoriser le passage d'un courant électrique .Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique .Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leur concentration .La température influe sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température.

Elle est aussi la propriété que possède un sol pour varier le passage d'un courant électrique. Les sols ont une minéralisation et une composition ionique variable selon la géologie du terrain, généralement  $\leq 150 \mu\text{s/cm}$ .

Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité d'abord avec de l'eau distillée puis avec l'échantillon à mesurer.

Mettre 2g de sol +20 ml d'eau distillée, ensuite agiter les électrodes dans le bêcher, laisser décanter et mesurer la conductivité sur le liquide surnageant à l'aide du conductimètre de type InoLab® Cond 730 WTW (RODIER., 2005).

### **III.2.2.3 - Détermination de la salinité:**

Processus d'accumulation des sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol il s'en suit une diminution des rendements et a terme, une stérilisation des sols.

Cette mesure se prend en mesurant la conductivité électrique du sol entre 2 électrodes et est proportionnelle à l'intensité du courant, plus le courant passe, plus la mesure est élevée et le sol est riche (RODIER., 2005).

### **III.2.2.4 La technique d'analyse par SAA des métaux lourds**

La spectrométrie d'absorption atomique AAS constitue des outils privilégiés d'analyse d'échantillons liquides, soit prélevés tel quels milieu aqueux, soit obtenus après extraction spécifique des matériaux solides (analyse des roches, sédiment, sol, faune et flore).

#### **A-Principes de l'émission et de l'absorption atomique:**

La spectrométrie à absorption atomique (SAA) consiste à vaporiser l'échantillon liquide et à l'aide d'une flamme. En mode flamme, l'équipement peut être utilisé en spectrométrie d'absorption et d'émission. La flamme est dirigée vers une lumière émise par une lampe appropriée émettant les longueurs d'onde caractéristiques de l'élément recherché.

Le dispositif expérimental utilisé en absorption atomique se compose d'une source, la lampe à cathode creuse, d'un brûleur et un nébuliseur, d'un monochromateur et d'un détecteur relié à un amplificateur et un dispositif d'acquisition.

Le principe de base de la méthode d'analyse chimique repose sur des mesures d'absorption d'une radiation lumineuse réalisée sur une substance ramenée à l'état d'atomes libres dans une flamme produite par la combustion d'un carburant tel que l'acétylène.

Cette radiation est partiellement absorbée par l'élément et son intensité diminue d'autant que la concentration de cet élément est plus grande (BLIEFERT & PERAUD, 2001).

Cette absorption est proportionnelle à la concentration en métaux contenus dans l'échantillon suivant la loi de Beer-Lambert:

$$A = \log I^0/I = K.L.C$$

A: absorbance.  $I^0$ : intensité du faisceau incident 'initial'.

I: intensité du faisceau lumineux après absorption 'transmise'.

K: coefficient d'extinction ou d'absorptivité de l'espèce à doser 'les particules dissoutes' son unité est  $\text{l.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ .

L: longueur de la source d'atomisation maintenue constante.

C: concentration de l'espèce à doser la solution en particules considérées

L'analyse par spectroscopie absorption atomique avec flamme de type Perkin Elmer, analyst 3110 (SAA) d'une solution d'échantillon est envoyée dans une flamme qui sèche, volatilise et transforme l'échantillon en un nuage d'atomes neutre. La lumière émise par une lampe à cathode creuse spécifique de l'élément à analyser passe à travers la flamme et les atomes neutres de ce même élément absorbent, une partie de cette lumière diminuant ainsi l'intensité du faisceau lumière (Rodier et al 2005).

La quantité de lumière absorbée par les atomes neutres est fonction de trois facteurs:

- Le facteur d'absorption constant pour un élément à une longueur d'onde donné.
- La longueur de flamme traversée par le faisceau lumière.
- La concentration de l'élément analysé, une mesure du nombre d'atomes neutres

Les deux premiers facteurs étant constants, la quantité de lumière absorbée permet une mesure de la concentration de l'élément. Un élément donné absorbe la même longueur d'onde que celle qu'il émet lorsqu'il est excité. Comme une grande proportion des atomes se trouvent dans la flamme à un état non excité et en état fondamental, la longueur d'onde absorbée est une raie d'état neutre. En spectrométrie d'émission atomique, on utilise la flamme elle-même comme source d'énergie pour exciter les atomes. Ces atomes excités revenant à l'état fondamental émettent alors des radiations à la longueur d'onde qui les caractérise.

Les radiations désirées sont ensuite isolées par le nanochromateur, leur intensité est proportionnelle à la concentration de l'élément à doser (DAVIS et al, 2001).

Avant chaque analyse par SAA, il faut introduire les paramètres concernant la méthode choisie (mode d'atomisation par flamme ou par four), l'élément à doser, la longueur d'onde spécifique, le numéro de la lampe à cathode creuse, le nombre et les concentrations d'étalons, ainsi que l'unité de la concentration (DAVIS *et al*, 2001).

Ensuite nous devons suivre les étapes successives suivantes:

- \*Alimentation en gaz carburant, (acétylène/air).
- \*Allumage de la flamme.
- \*Attendre quelques minutes pour corriger la ligne de base du signal qui est ramené à zéro.
- \*Etablissez la courbe d'étalonnage, introduisez le capillaire dans chacun des tubes à essai.
- \*Les valeurs des absorbances affichées sont calculées par rapport au témoin eau distillée.
- \*Les échantillons sont acidifiés au préalable avec 1% de HNO<sub>3</sub> et filtrés si c'est nécessaire pour éliminer les résidus solides.

### **B- Analyse des métaux lourds par SAA des échantillons de pin d'Alep**

Mode opératoire :

- \*Prélèvement des échantillons de pin d'Alep (feuilles, écorces, cônes)
- \*Séchage à l'étuve (120°C) pendant 24h
- \*Broyage (broyeur type 4m 150)
- \*Pesée de 1g de chaque échantillon
- \*Calcination four à 450°C et creuset porcelaine pendant 6 heures.
- \*Dissolution des échantillons calcinés dans un bécher de 50ml contenant 10ml d'acide nitrique et 30ml d'eau distillée.
- \*Filtration sur un papier filtre.
- \*Ajustement du niveau du filtrat à 50ml avec de l'eau distillée (Rodier, 2005).

### **C-Préparation de l'appareil d'analyse par SAA :**

- a- préparation d'une solution étalon de plomb, de zinc, de cuivre et de fer à 20mg/l pour chaque métal. Réglage de l'appareil à la longueur l'onde de 283.2nm
- c- Etalonnage de l'appareil.
- d- Lecture des résultats en mg/l (Davis *et al*, 2001).

### **III.2.3- Analyse du sol**

L'échantillonnage sur le terrain est une phase essentielle, car la variabilité du terrain est considérable ; l'erreur d'échantillonnage peut hypothéquer la représentativité de l'échantillon prélevé. Nous avons utilisé une manière d'échantillonnage aléatoire stratifié surtout pour les oxydes (DEMIRAK *et al* , 2006).

Les prélèvements en profondeurs ont été effectués à l'aide d'une tarière hélicoïdale, Les sols de même profondeur et de la même zone sont mélangés, mis dans des sachets en plastique et transportés au laboratoire. Ils sont séchés à 40°C pendant trois jours, écrasés au mortier en porcelaine puis tamisés à 2 mm et ensachés pour analyse (méthode interne PS0029 selon NF ISO 11464 -X31-412).

Les jauges OWEN permettent aussi d'échantillonner les retombées totales (sèches et humides), c'est-à-dire les particules qui retombent au niveau du sol (DEEPALI & GANGWAR, 2010). L'avantage de la mise en place de normes fixes telles que les normes hollandaises est de définir pour chaque polluant une valeur seuil facilitant les prises de décisions et permettant notamment de dire qu'un sol doit être dépollué ou non (DUCHAUFOR, 2001).

Le problème posé par de telles normes est qu'elles simplifient trop les situations et ne définissent pas les méthodes de mesure.

Les principales simplifications sont la non prise en compte de :

\*L'état du sol avant pollution (les bruits de fond géochimiques tels que la teneur naturellement élevée en sélénium de certains sols sédimentaires ne doivent pas être pris en compte pour décider d'une réhabilitation ou juger de son succès).

\*La toxicité des éléments : celle-ci dépendant souvent de leur forme chimique, et notamment de leur valence (peut être ajoutée au problème des différences de toxicité d'un produit pour les divers groupes taxonomiques).

#### **III.2.3.1- Température**

Exprimée en °C, elle peut influencer sur la solubilité des gaz et des sels, toutes les analyses du sol ont été effectuées à des températures constantes de 20 et 25 °C par un thermo-hygromètre de terrain type Chauvin Arnoux CDA 845 (BRIGITTE *et al*, 2003).

#### **III.2.3.2- Potentiel Hydrogène**

Le pH naturel du sol a été assimilé au pH relevé après mise en équilibre du sol avec un volume d'eau déminéralisée.



\*Mettre 10 mg de chaque échantillon de sol titré dans un bécher de 100ml, ajouter 50 ml d'eau distillée.

\*Agiter sur une plaque chauffante pendant 4 mn et laisser reposer 3 mn.

\*Étaler sur le pH mètre et mesurer. L'appareil utilisé est un pH-mètre de type WTW 521 (RODIER, 2005).

### **III.2.3.3- Conductivité**

C'est la propriété que possède un sol pour varier le passage d'un courant électrique. Nous avons procédé de la même manière que pour l'analyse du sol dans le reboisement d'EL Guettar en page 52.

### **III.2.3.4 - Métaux lourds**

Nous avons analysé les métaux lourds suivants : Cr, Cu, Ni, Zn, Cd et Pb.

Des échantillons de 300 g issus de nos stations ont été retenus.

Nous avons procédé à la mise dans des flacons en verre borosilicalisé préalablement trempés dans de l'acide nitrique à 10 % pendant 24 heures, puis rincés à l'eau distillée. Nous avons ensuite mis ces échantillons dans un séchoir à une température maximale de 40 °C.

Nous avons obtenus de la terre fine après passage au tamis 2mm. Afin de doser les métaux lourds il faut obtenir une poudre homogène avec un autre tamis de 200 µm.

On doit extraire toutes les formes de l'élément que l'on veut doser y compris celles intégrées dans les réseaux cristallins des minéraux primaires et secondaires (argileux, silicates, carbonates et oxydes). Le réactif utilisé est l'eau régale (association acide nitrique et acide chlorhydrique ;  $\text{HNO}_3 + \text{HCL}$ ).

Mettre 1 g de l'échantillon dans le bêche dans lequel on rajoute 10 ml de  $\text{HNO}_3$  et quelques millilitres d' $\text{H}_2\text{O}$  distillée, la solution obtenue est mise sur plaque chauffante jusqu'à la réaction totale de l' $\text{HNO}_3$  puis laisse ouverte pour refroidir. On lui rajoute ensuite 10 ml d' HCL et quelques millilitres d' $\text{H}_2\text{O}$  et on laisse chauffer sur une plaque jusqu'à la réaction totale . Cette solution est laissée pour refroidir et mélangée à de l'acide fluorhydrique(HF) en lui rajoutant quelques millilitres d' $\text{H}_2\text{O}$  distillée. La solution ainsi obtenue est filtrée puis complétée par 50 ml d' $\text{H}_2\text{O}$  distillée (DUCHAUFOR, 2001).

Les échantillons préparés sont ensuite analysés par spectroscopie d'absorption atomique (SAA) au laboratoire de l'ENPEC de l'unité d'affinage dans la zone industrielle de Sétif.

### **III.2.3.5- Analyses des oxydes**

Les oxydes à analyser sont:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{So}_3$ .

Afin d'analyser les oxydes contenus dans le sol nous avons prélevé des quantités égales au niveau de 2 stations à des profondeurs de 20, 40 et 80 cm. On pèse 12 g et on rajoute 1 g de cellulose (agent de broyage).

Un séchage des échantillons pendant 24 heures suit d'un broyage dans un broyeur à mâchoires afin d'obtenir une poudre fine (BOUMEGOURA & HABBAS, 2003).

A l'aide d'une presse on a préparé des pastilles qui seront ensuite analysées par fluorescence à rayons X dans un appareil de type Cubix XRF au niveau de la cimenterie (SCAEK).

### **III.2.4 Analyse des eaux superficielles oued Ezzatine**

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

Pour prélever ces échantillons nous avons utilisé un récipient avec bras télescopique attaché à une bouteille en verre traitée avec de l'acide nitrique à 10%, les flacons seront rincés trois fois avec de l'eau à analyser, le prélèvement s'effectue à mi-profondeur (50 cm) et en plein courant, face à la direction fictive du cours d'eau, l'échantillon est rempli jusqu'au bord.

Durant le transport, il faut protéger nos échantillons des transformations chimiques qui peuvent avoir lieu et risquent de fausser les résultats (RODIER, 2005).

#### **III.2.4.1- La conductivité**

La conductivité est la propriété que possède une suspension à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leur concentration.

La température influe sur la conductivité car la mobilité des ions est proportionnelle à la température. Le conductimètre utilisé est de type InoLab® Cond 730 WTW (RODIER, 2005).

#### **III.2.4.2 - Le potentiel Hydrogène**

Il sert à quantifier la concentration des ions  $\text{H}^+$  de l'eau qui lui confère son caractère acide ou basique. L'appareil utilisé est un pH-mètre de type pH mètre WTW 521 (RODIER, 2005).

### III.2.4.3 - La température

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet d'expliquer les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température comme la conductivité ; elle a été mesurée à l'aide d'un thermo-hygromètre de terrain type Chauvin Arnoux CDA 845 (BRIGITTE *et al*, 2003).

### III.2.4.4 - Matières en suspension (MES)

Pour la détermination des matières en suspension (M.E.S) nous avons utilisé la méthode par filtration sur disque filtrant. Il repose sur la séparation des matières en suspension de l'échantillon d'eau. Le filtre est séché à 105° puis pesé après refroidissement (Duchaufour, 2001). Le taux des matières en suspension (MES), exprimé en milligramme par litre (mg/L) est donné par l'expression :

$$\text{MES} = \frac{(M_1 - M_0) 1000}{V}$$

Où

**V** : Le volume en millilitres d'échantillon utilisé ;

**M<sub>0</sub>**: La masse en milligrammes du disque filtrant avant utilisation ;

**M<sub>1</sub>** : La masse en milligrammes du disque filtrant après utilisation.

La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés et de la saison des rejets. Elles caractérisent la teneur en gramme/litre des éléments non dissous de diverses granulométries transportées par l'eau. Ces matières peuvent être minérales et inertes ou plus ou moins actives vis à vis de l'oxygène. Cependant des teneurs élevées peuvent empêcher la pénétration des rayons solaires, diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique ; l'asphyxie des poissons, par colmatage des branchies (CHAFFAI *et al*, 2006).

D'une façon générale, les matières en suspension interviennent dans la composition de l'eau par leurs effets d'échanges d'ions ou d'absorption, aussi bien sur les éléments chimiques à l'état de traces que sur les micro-organismes. En particulier, les argiles et les particules organiques ayant, une large surface d'absorption constituent un support idéal pour les ions, les molécules diverses et les agents biologiques. De ce fait, ils peuvent constituer un vecteur pour la pénétration de ces produits dans l'organisme (KOLLER, 2004)

### **III.2.4.5 - Les métaux lourds :**

L'analyse par spectroscopie absorption atomique avec flamme de type Perkin Elmer, analyst 3110 (SAA) d'une solution d'échantillon est envoyée dans une flamme qui sèche, volatilise et transforme l'échantillon en un nuage d'atomes neutre. La lumière émise par une lampe à cathode creuse spécifique de l'élément à analyser passe à travers la flamme et les atomes neutres de ce même élément absorbent, une partie de cette lumière diminuant ainsi l'intensité du faisceau lumière (RODIER, 2005).

#### **\*Dosage du chrome :**

Nous avons utilisé un colorimètre de type (HACH), une cuvette remplie avec 10ml d'échantillon, ajout le contenu d'une gélule de réactif Chroma Ver 3 à la cuvette.

Bien fermer et agiter pour mélanger. Une période de réaction de 5 mn ; remplir une autre cuvette avec 10 ml d'échantillon, placer ce dernier dans le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette. Le curseur se déplace vers la droite-puis l'affichage indique 0,00 mg/L Cr<sup>+6</sup>. C'est le calibrage de l'appareil.

### **III.2.5 Analyse des eaux souterraines**

Les échantillons ont été récoltés au niveau des stations représentées par les puits et les forages dans la zone industrielle d'Ain EL Kebira. Nous avons prélevé de l'eau dans une bouteille de verre de 1000 ml stérilisée avec l'acide nitrique à 10%, jusqu'à ce que le volume ait été remplacé trois fois (nous avons laissé l'eau couler afin d'éliminer les impuretés et de ne pas incorporer de bulles d'air). Nos analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire d'électrochimie de l'Université de Sétif, quant aux métaux lourds nous avons utilisé la spectroscopie à absorption atomique de l'entreprise nationale des produits électrochimiques de Sétif (ENPEC).

Notre analyse a consisté à mesurer la température sur site, la dureté, la conductivité, le pH, les nitrates, les nitrites, les chlorures et les métaux lourds (Fe, Cd, Pb, Zn) ont été analysés au laboratoire de l'ENPEC de Sétif.

#### **III.2.5.1 - La dureté ou titre hydrotimétrique**

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations des cations métalliques et dans la plupart des cas aux ions calcium et magnésium. La technique permet la détermination de l'alcalinité (LENNTECH, 2004).

### III.2.5.2 - La conductivité

La conductivité est la propriété que possède une suspension à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leur concentration. La température influe sur la conductivité car la mobilité des ions proportionnelle à la température. Le conductimètre utilisé est de type InoLab® Cond 730 WTW (RODIER, 2005).

### III.2.5.3 - Le potentiel Hydrogène

Il sert à quantifier la concentration des ions  $H^+$  de l'eau qui lui confère son caractère acide ou basique. L'appareil utilisé est un pH-mètre de type pH mètre WTW 521 (RODIER, 2005).

### III.2.5.4- La température

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet d'expliquer les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température comme la conductivité ; elle a été mesurée à l'aide d'un thermo-hygromètre de terrain type Chauvin Arnoux CDA 845 (BRIGITTE *et al*, 2003).

### III.2.5.5 - La turbidité

La mesure de la turbidité de l'eau nous renseigne sur sa charge de matières en suspension. Elle est liée à sa transparence et a été mesurée par un turbidimètre portatif 2100Q de type Hach (RODIER, 2005).

### III.2.5.6 - Nitrates et nitrites

La méthode d'analyse appliquée pour le dosage des nitrates et des nitrites est basée sur une technique de spectrophotométrie d'absorption moléculaire par flux continu (Gupta *et al*, 2010 ; Rodier *et al* 2005). L'analyse des nitrites a été effectuée de la manière suivante :

On a pris 50 ml d' $H_2O$  distillée au quelle on lui a rajouté 1 ml de réactif mixte (Sulfamide 40 g ; acide phosphorique 100 ml ; N-1Naphtyl éthylène 2 g et 1000 ml).

L'apparition de la coloration rose indique la présence de  $NO_2$  .

L'analyse des nitrates a été effectuée par la méthode au salicylate de Na (Rodier, 2005).

**\*Principe :** En présence de salicylate de Na, les nitrates donnent du prinitrosnylate de Na coloré en jaune.

### **\*Mode opératoire :**

\* Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser ; ajouter 2 à 3 gouttes Solution d'hydroxyde de Na 30 %. Additionner 1 ml Solution de salicylate de Na à 0,5 %.

\*Evaporer à sec au bain marie ou à l'étude 75 à 88 °C laisser refroidir.

\*Reprendre le résidu avec 2 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré, laisser reposer 10 mn.

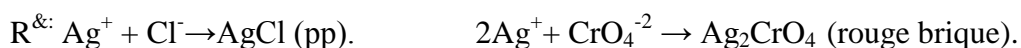
\*Ajouter 10 ml d' H<sub>2</sub>O distillée.

\*Ajouter 15 ml de Tartrates double de Na<sup>+</sup> et de K<sup>+</sup>, puis faire passer au spectrophotomètre d'absorption moléculaire par flux continu ; le résultat est donné directement en mg/l à une longueur de 420 nm multipliée par 4,43 pour obtenir la concentration de NO<sub>3</sub>.

### **III.2.5.7 - Chlorures**

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Le dosage a été effectué par la méthode de Mohr (Rodier, 2005).

Les chlorures sont dosés eu milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent AgNO<sub>3</sub> en présence de chromate de potassium K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>, la fin de la réaction est indiquée par : formation de précipité AgCl, l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>.



- Solution de nitrates d'argent.
- Solution de chromates de potassium.
- Eau à analyser.
- Burette, Becher, Pipette.

Introduire 100 ml d'eau à analyse dans un bécher de 250 ml, ajouter 2 à 3 goutte de solution du chromate de potassium à 10%. Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrates d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre.

Pour une prise d'essai de 100 ml.

$\text{Cl}^- = V.3, 55 \text{ mg de Cl}^- / \text{litre d'eau.}$

Soit **V** le nombre de millilitre de nitrate d'argent AgNO<sub>3</sub> N/10 utilisés.

### **III.2.5.8 - Détermination de la dureté de l'eau :**

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métallique à l'exception de ceux des alcalins et de l'ion hydrogène.

Dans la plus parts des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium (GUPTA et *al*, 2010 ; RODIER, 2005).

Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en  $\text{CaCO}_3$ , elle est aussi très souvent donnée en  $\text{F}^\circ$ .

- Solution d'EDTA (éthyle diamine tétra acétique)  $N=0,1$
- L'ammoniaque  $\text{NH}_3\text{OH}$ .
- Eau à analyser.
- Noir Eriochrome T, Becher 250ml, Burette graduée, Pipette et pro- pipette.

Prélever 100 ml d'eau d'analyser, ajouter 4 ml de solution ammoniacale puis des traces de noir eriochrome T.

- Si la solution devient bleu le  $\text{TH}=0^\circ\text{F}$ .
- Si la couleur est rouge vin, verser la solution d'EDTA jusqu'au virage de la couleur bleu.
- Pour une prise d'essai de 100 ml la dureté totale, exprimée en degrés français.

Sera égale  $V.1, 78= \text{F}^\circ$

$V$  : c'est le volume de titrage de la solution d'EDTA.

### **III.2.5.9 - Métaux lourds**

C'est le même procédé utilisé dans l'analyse des métaux lourds au niveau d'oued Ezzatine. L'analyse par spectroscopie absorption atomique avec flamme de type Perkin Elmer, analyst 3110 (SAA) d'une solution d'échantillon est envoyée dans une flamme qui sèche, volatilise et transforme l'échantillon en un nuage d'atomes neutre (Gupta et *al*, 2010 ; Rodier, 2005). Les métaux concernés sont : Le Fe, le Zn, le Cd et le Pb.

### **III.6- pollution et nouveau-nés**

C'est durant notre travail sur terrain que nous avons rencontré les riverains qui nous ont fait savoir que les nouveaux nés de la région sont trop chétifs et c'est à partir de cette information que nous avons exploité ; on a entamé notre enquête en se référant aux travaux effectués au Taiwan (Tai *et al* ,2003) et en France (SLAMA *et al* , 2008).

Les analyses des composés contenus dans les poussières ont été effectuées selon une méthode classique dite complexométrie et a été décrite au chapitre III.2.1 en page 48.

Nos statistiques ont été préparées par le logiciel Excel de la version Word 2007 et complétées par Statistica version 6 qui nous a permis de comparer les différents paramètres de notre étude à savoir le poids, la taille et périmètre crânien.

Pour ce faire nous avons utilisé les registres détenus au niveau des bureaux des entrées et les protocoles d'accouchements au niveau des services de gynécologie et obstétrique d'Ain EL Kebira et au niveau du CHU de Sétif.

Concernant les résultats du mois de février 2009 au mois de novembre 2010 on a pu suivre les accouchements dans l'hôpital d'Ain El Kebira.

Nous avons utilisé un pèse bébé pour prendre le poids des nouveaux nés de marque Pazzini et homologué par les services de contrôles d'appareillages de mesures.

Un mètre ruban afin mesurer la taille et le périmètre crânien des nouveaux nés.



## Chapitre IV : Résultats & Discussion

### IV.1- Pollution particulaire par les poussières du ciment

#### V1.1-La composition minéralogique des poussières de la carrière au produit fini avant l'installation du filtre à manche

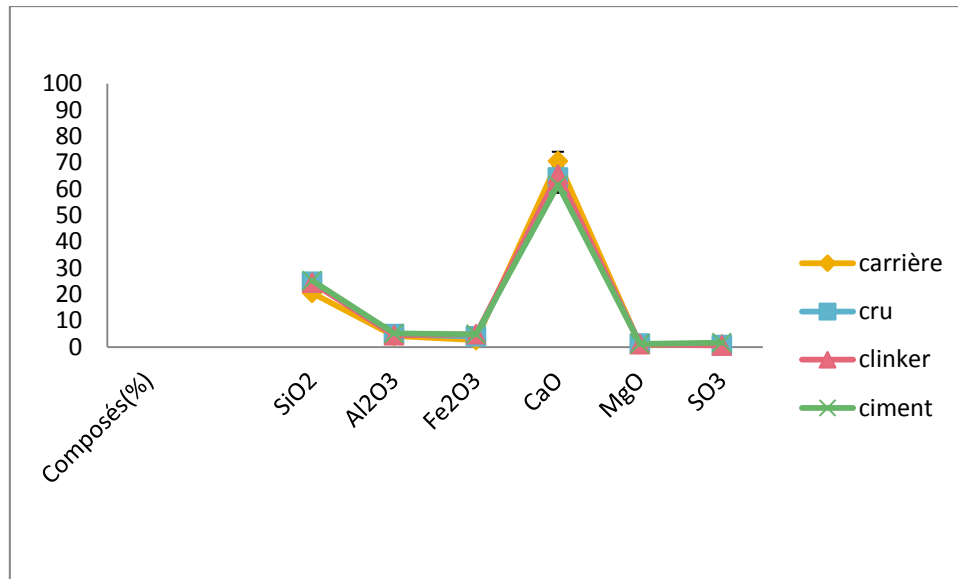
Les résultats obtenus des analyses sur les poussières récupérées au niveau des filtres du four et des autres ateliers représentant les étapes de fabrication du ciment sont représentées dans la figure 20 ; soit 24 échantillons montrent dans un premier temps que la fabrication du ciment génère plusieurs types de poussières contenant divers composés minéraux à des taux différents.

Nous remarquons d'une part que parmi les différentes poussières celles du clinker contiennent des taux en minéraux les plus élevés et d'autre part elles sont essentiellement riches en CaO.

Les valeurs des différents types de poussières recueillies au niveau des filtres du four montraient que la variation est très grande d'un type de poussières à l'autre et ce pour tous les composés minéralogiques. Dans la composition chimique des poussières, la teneur en SiO<sub>2</sub> variait de 20,53% dans les poussières de la carrière à 25,24 % dans les poussières du ciment. Celle de l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 4,24 à 5,14 % ; le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 2,61 à 4,85 %. Le CaO variait entre 70,61 % dans les poussières carrière à 61,61% dans les poussières ciment et atteignant 65,64 % dans le clinker. La teneur en MgO oscillait entre 0,95 et 1,22%. Le SO<sub>3</sub> variait entre 1,02 à 1,65%. Il est à noter que les valeurs des composés minéralogiques enregistrées dans les poussières recueillies au niveau de la carrière étaient les plus faibles par rapport à celles des poussières de ciment qui étaient les plus élevées ; nos résultats concordent bien avec ceux effectués par le laboratoire de la cimenterie d'Ain EL Kebira (MSC, 2007).

La station F celle de Megress considérée comme témoin, n'a pas fourni de poussières car elle se trouve hors du périmètre de pollution.

L'augmentation de la composition minéralogique des poussières de la carrière jusqu'au ciment fini est conditionnée par les ajouts des différents composés intervenant dans la composition chimique du ciment ainsi que l'absence du système de filtration des poussières (AMITA, *et al*, 2005). Ces valeurs montraient bien que la teneur en poussières dans l'air est la plus élevée au niveau de la carrière en raison des explosions relatives à l'extraction et au transport, constituant ainsi une source dominante générant les poussières importantes malgré les moyens d'humidification de la chaussée (MSC, 2007).



**Figure 20.** Teneur des Composés minéralogiques des différents types de poussières recueillies de la carrière au ciment avant l'installation du filtre

#### IV.1.2 Quantité de poussières déposées et composition minéralogique des poussières dans les jauges Owen

L'expérience menée à l'aide des jauges Owen nous a permis de quantifier en plusieurs endroits les poussières déposées et d'en réaliser les analyses qualitatives et quantitatives du contenu .

Les Quinze échantillons de poussières déposées, pesées et recueillies au niveau des jauges Owen ainsi que les périodes bimestrielles de prélèvements durant l'année 2006 sont représentées dans le tableau N°3. Ces analyses des poussières récupérées près des filtres du four et des autres ateliers ont montré dans un premier temps que la fabrication du ciment génère plusieurs types de poussières contenant divers composés minéraux à des taux différents. Cela est concordance avec les analyses effectuée par le laboratoire de la SCAEK.

Les stations B et C comportaient les taux les plus élevés de poussières variant entre 12,56 et 12,89 gr. Cela est justifié par la dominance et l'intensité des vents du mois de mars au mois de juin, durant les prélèvements P<sub>2</sub> et P<sub>3</sub> comme mentionnés par RAMADE (RAMADE, 2007).

D'après les résultats du tableau N° 3 on remarque aussi que toutes les stations sont en synergie dans la composition des poussières des jauges Owen avec les compositions du ciment de la carrière au ciment fini indiqués au graphe 20. Les stations B, Cet D sont les plus polluées par les poussières car elles se trouvent dans la direction des vents dominants.

Ces résultats s'expliquent d'une part par la présence du gisement qui produit des quantités importantes de poussières lors de l'extraction et le transport des minerais pour la fabrication du ciment (transport par camions) sous l'influence de la direction des vents.

**Tableau 3 :** Quantité de poussières (g) déposées au niveau des jauges avant l'installation du filtre à manche.

Sites de prélèvement	A	B	C	D	E
----- Période de prélèvement					
Jan/Fev/2006 (P <sub>1</sub> )	2.80	3.05	3.72	2.45	1.08
Mars/Avr/2006 (P <sub>2</sub> )	3.50	4.92	5.12	2.89	2.77
Mai/ juin 2006 (P <sub>3</sub> )	2.96	3.59	4.05	3.80	3.53
Total des poussières (gr)	9.26	<b>12.56</b>	<b>12.89</b>	9.14	7.38
Surface de récolte (m <sup>2</sup> )	0.0314	0.0314	0.0314	0.0314	0.0314

**Tableau 4 :** Teneur de composés minéralogiques au niveau des Jauges Owen (%)

Composés %		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	PAF
Prélèvements stations								
<b>P1</b>	A	22,18	3,92	2,61	58,01	1,64	0,64	11,20
	B	23,50	2,54	1,40	44,03	1,15	0,28	27,10
	C	23,12	2,71	1,18	43,30	1,07	0,21	28,41
	D	22,41	3,23	2,08	46,24	1,31	0,42	25,31
	E	22,31	3,42	2,12	55,10	1,22	0,71	16,13
<b>P2</b>	A	25,56	3,22	2,22	51,03	1,64	0,82	16,51
	B	25,02	2,90	1,35	46,30	1,05	0,37	23,01
	C	23,12	2,71	1,18	43,30	1,07	0,21	28,41
	D	23,49	3,25	2,05	44,71	1,30	0,58	24,62
	E	22,97	3,69	2,97	53,31	1,62	0,94	14,80
<b>P3</b>	A	20,49	4,00	2,90	60,20	1,70	2,59	3,71
	B	20,67	2,75	1,35	40,70	1,33	1,20	31,00
	C	20,96	2,33	2,62	48,70	1,33	1,33	33,73
	D	20,27	3,17	2,03	44,40	1,40	1,63	22,10
	E	21,72	4,06	1,80	49,00	1,80	2,15	14,62

Concernant l'analyse des composés contenus dans les poussières, l'une des constatations importantes est que les résultats trouvés peuvent être regroupés deux par deux. Les valeurs de PAF (CO<sub>2</sub>) varient de façon presque identique à celles de SiO<sub>2</sub> (ARQUES, 1998).

En effet, les valeurs les plus importantes sont enregistrées au niveau des stations B, C et D avec un maximum de 33,73% au niveau de la station C, c'est à dire celle située au sud et à 500m de la guérite de la cimenterie et la plus faible valeur de 3,71% étant enregistrée au niveau de la station A c'est à dire celle située à 500 m au nord de la guérite.

Ces deux résultats s'expliquent par le fait que les poussières sont riches en  $\text{SiO}_2$ .

Ces stations qui sont situées du côté Sud et proche du gisement de la cimenterie subissent l'influence de la direction des vents du Sud secs et chauds (ANGELOVA & IVANOV, 2008).

Les résultats de l' $\text{Al}_2\text{O}_3$  et du  $\text{CaO}$  sont exprimés dans le tableau N°4.

Contrairement aux résultats précédents, nous remarquons que ceux retrouvés pour  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{CaO}$ , il apparaît clairement que les valeurs les plus importantes se situent au niveau des stations A et E. Ces stations étant situées du même côté par rapport à la cimenterie.

Ces résultats sont influencés par la position des stations qui se trouvent proches du lieu de stockage du clinker, matière très riche en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{CaO}$ , ce qui est similaire aux études effectuées par FERFER en 2003 et ANGELOVA & IVANOV en 2008.

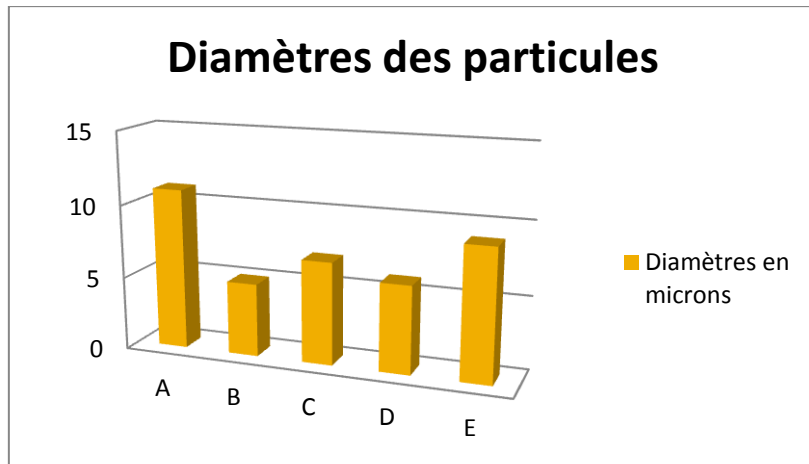
Connaissant les problèmes des composés à base d'oxyde de soufre, fer et magnésium, principalement les actions nocives qu'ils peuvent engendrer au niveau de notre environnement et leurs conséquences vis-à-vis de la santé publique, nous avons été amené à réaliser quelques analyses relatives aux taux de  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et  $\text{MgO}$  présents au niveau des différents sites de prélèvement. Ces résultats exprimés dans le tableau N°2 c'est-à-dire ceux relatifs aux  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et  $\text{MgO}$  qui sont presque identiques à ceux retrouvés avec d'autres composés oxydés qui sont  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{CaO}$ .

Les taux les plus élevés sont retrouvés principalement au niveau des stations A et E.

### **V1.3- Diamètre des particules**

Nous avons remarqué que les plus grosses particules se retrouvent principalement au niveau des stations situées au Nord et à l'Est de l'usine dans la direction des vents dominants. Trois points essentiels méritent d'être discutés d'après les résultats qui viennent d'être présentés. Il s'agit d'une part de la nature et de la teneur des composés minéralogiques et métalliques des différents types de poussières et d'autre part à la taille des particules de poussières (ACEE, 2006). Les taux les plus élevés (11 et 9  $\mu$ ) sont enregistrés au niveau des stations A et E. Ces stations sont dans la direction des vents dominants nord- Est.

La taille des particules peut également nous renseigner sur l'impact des poussières émanant de la cimenterie sur la santé humaine notamment les riverains car elle constitue un paramètre important dans les affections respiratoires qui évoluent au fur et à mesure les particules sont fines (UNICUMA, 2000).



**Figure 21 :** Diamètre moyen en microns des particules de poussières recueillies au niveau des jauges dans les différentes stations

#### IV.1 .4 Analyse des métaux lourds dans les poussières

Selon les moyens mis à notre disposition, nous nous sommes intéressés à l'analyse de quelques métaux importants et toxiques tels que sont le Cuivre, le Zinc, le Fer, le Cadmium et le plomb (ANGELOVA & IVANOV, 2008).

Ces analyses ont été effectuées à partir des poussières contenues dans les électro filtres, dans le clinker, celles de la carrière et enfin celles des crus au niveau des filtres.

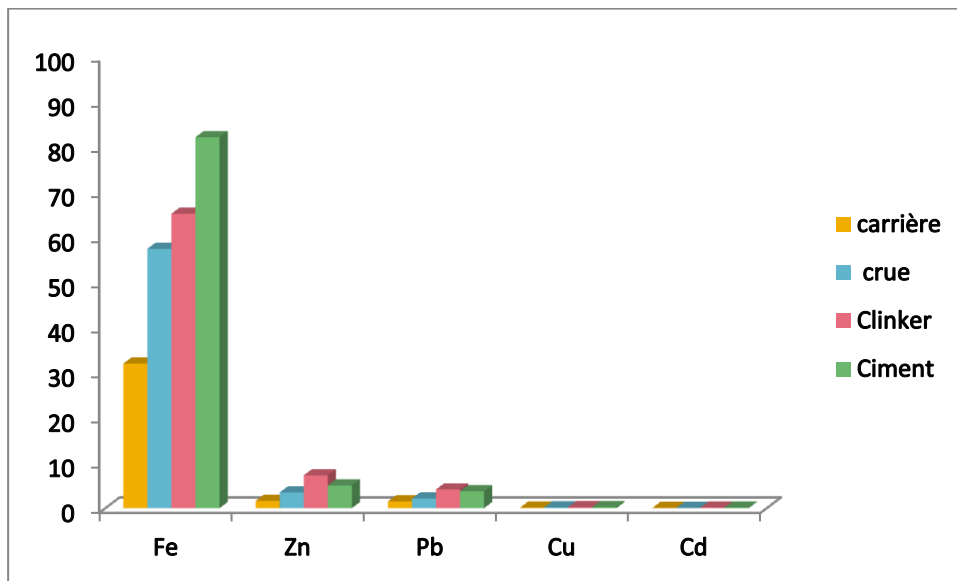
Ils permettent de constater que les poussières du clinker et du ciment contiennent des taux relativement élevés en métaux lourds et plus particulièrement en Fer, Zinc et en Plomb. Mais ces taux restent toujours en dessous des valeurs indicatives pour les teneurs maximales en métaux lourds tolérées (5 mg/Nm<sup>3</sup>) dans la production du ciment.

Ces résultats s'expliquent par le fait que ces métaux peuvent provenir des matières utilisées comme substituts au cru ou agent de correction pour la production du clinker ou comme ajouts au clinker lors de la production du ciment. De plus, Lors du passage du cru dans le four, les métaux se lient au clinker. Ces compositions en métaux lourds doivent être suivies de près car les taux sont très proches des limites tolérées (DJICO, 2005).

Les teneurs des composés minéralogiques recueillis au niveau de la chaîne de production sont représentés au niveau de la figure 22.

Les résultats des teneurs métalliques enregistrés au niveau des différents types de poussières sont très variables d'un type de poussière à l'autre. Concernant le Fe, sa teneur est de 82,19 mg/kg pour les poussières ciment et de 32,05 mg/kg pour les poussières carrière, cela est dû aux rajouts. La teneur en Zinc et en Plomb est la plus élevée au niveau du Clinker par rapport aux autres types de poussières (CITEP, 2012).

Nous pouvons déduire qu'en général les concentrations des métaux lourds sont dans les limites des normes autorisées.



**Figure 22.** Teneur en métaux lourds des différents types de poussières recueillies au niveau de la chaîne de production

#### V.1.5-Composition minéralogique des poussières après l'installation du filtre à manche

Après l'installation du filtre à manche, nous avons récolté 18 échantillons de poussières par le biais des jauges Owen au niveau de la chaîne de production.

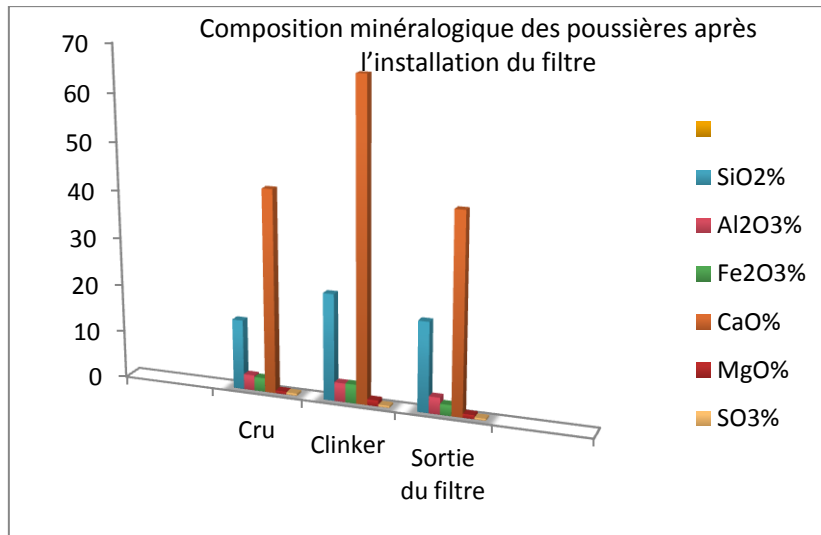
Les résultats sont représentés dans la figure 23.

Nous avons constaté une réduction de 18,84% de  $\text{SiO}_2$ , 3,54% d' $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2,29% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 41,71% de  $\text{CaO}$ , 0,84% de  $\text{MgO}$  et 0,40% de  $\text{SO}_3$  dans les poussières ciment.

La collecte des poussières des jauges Owen après l'installation du filtre à été très faible en dehors de la chaîne de production (ZEROURQUI *et al*, 2005).

D'après ces résultats nous déduisons que le nouveau dispositif dont les capacités de filtration sont de  $10\mu\text{g}/\text{NM}^3$  est en dessous des normes Algériennes (JORADP, 2006) qui sont de  $30\mu\text{g}/\text{NM}^3$  et OMS fixées à  $25\mu\text{g}/\text{NM}^3$ , alors qu'elles étaient de  $180\mu\text{g}/\text{NM}^3$  avant l'installation du système de dépoussiérage (SCAEK, 2006).

Cela confirme bien, l'efficacité de ce système de dépoussiérage qui est le filtre à manche.



**Figure 23.** Analyse des échantillons des poussières après l'installation du filtre à manche

## IV.2- Impact des rejets de poussières sur le reboisement d'EL Guettar (*Pinus halepensis* Mill)

### IV.2.1-Le pH du sol

Les résultats de la figure 24 montrent que le pH de nos stations est compris entre 6.9 et 8.8. Selon les normes OMS (annexes1), le pH normal du sol se situe entre 6.5 et 7.5. Hormis la station de Ras Eroumia qui dispose d'un pH acide de 6.9 ; toutes les autres sont au dessus des normes. Ceci illustre le caractère homogène des dépôts qui proviennent d'une même source qui est la cimenterie (Anuradha , 2005). En effet, les composés, tels que les oxydes (MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O) et la chaux (CaO) présents dans la matière première, réagissent dans le sol de manière alcaline. Malgré l'épaisseur de la couche d'humus formée par les aiguilles du pin d'Alep tombées au sol et qui ont participé à l'augmentation de l'acidité donc diminution du pH, la majorité de nos stations ont un pH alcalin dû aux rejets des poussières riches en CaCO<sub>3</sub> de la cimenterie (ARDUINI, 1994 ; TEDJAR, 2012).

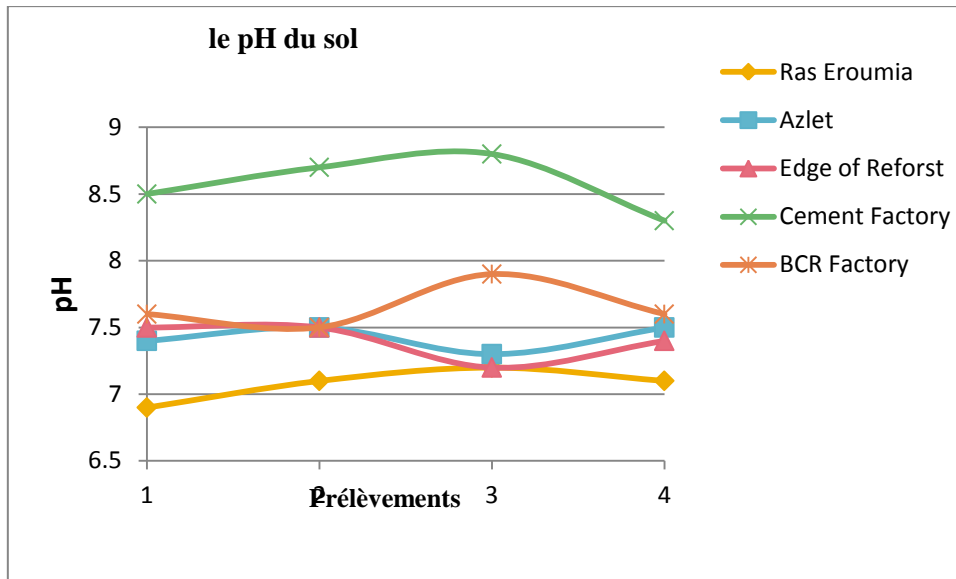


Figure 24 : le pH du sol

#### IV.2.2-La conductivité électrique et salinité du sol

La conductivité électrique est la capacité que possède un sol pour varier le passage d'un courant électrique. Elle est comprise entre 108 et 502  $\mu\text{s}/\text{cm}$  à 20,1 °C et est représentée dans la figure 25. La salinité varie entre 70 et 367 ppm. La conductivité varie de 352 à 502  $\mu\text{s}/\text{cm}$  au niveau de la station de la cimenterie. La proportionnalité entre la conductivité et la salinité du sol est confirmée par la forte minéralisation au niveau de la station de la cimenterie qui est la source d'émission de poussières. La lisière de la forêt est la plus touchée cela est dû à son emplacement non seulement proche de la cimenterie et dans la direction des vents dominants mais aussi sur le bord de la route nationale (RN 9B) qui est très fréquentée (TEDJAR, 2012).

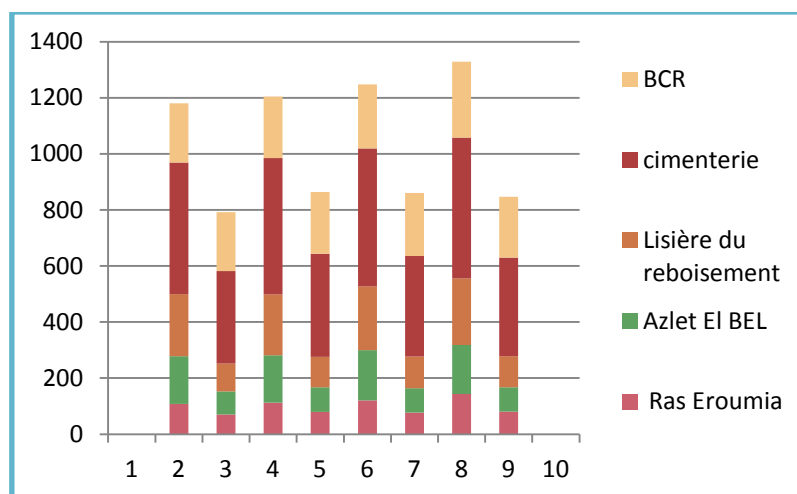


Figure 25 : Conductivité et salinité du sol



## **IV.2.3- Analyse des métaux lourds dans le pin d'Alep**

### **IV.2.3.1- Le plomb**

Le tableau 5 a montré que les taux de Pb varient entre 0,20 et 1.61 mg/l.

Les stations de Ras Eroumia, Azlet El Bel qui se trouvent à l'intérieur du reboisement et expriment des valeurs comprises entre 0,20 et 0,87 mg/l, donc inférieures aux normes qui sont de 1 mg/l (annexes). La station de la cimenterie montre aussi des valeurs comprises entre 0,25 et 0,91 mg/l, donc inférieures au seuil (1 mg/l). Nos trois stations sont loin de toute source de pollution au Pb (GARRER *et al*, 2002).

La lisière du reboisement indique des valeurs entre 1.03 et 1.25 mg/l donc au dessus du seuil, cette station a subi l'influence du trafic routier entre la ville de Sétif et celle d'Ain EL Kebira (RN 9B) dont l'essence avec plomb est toujours utilisée et encore la moins chère.

La station de la Saniak montre des valeurs allant jusqu'à 1.61 mg/l ce qui est au dessus du seuil toléré suite à sa situation proche de la route ainsi que l'utilisation du plomb dans la chaîne de fabrication et cela a été cité par GARRER en 2002 et TEDJAR en 2012.

Le Pb est considéré comme étant fortement toxique vis-à-vis de l'homme, de la flore et la faune et caractéristique d'une pollution industrielle. Il contamine le végétal en surface. Les concentrations du Pb au niveau des aiguilles des arbres sont plus élevées que dans les écorces et les cônes. Nos analyses montrent que les taux de plomb dans le pin d'Alep varient d'une station à une autre en fonction de l'activité industrielle et du trafic routier. Mais les taux de la station de la Saniak sont les plus importants et donc la plus polluée de toutes les stations, dépassant ainsi de deux fois et demie la norme admise par l'OMS (1mg/l) (annexes 1).

En effet, les résultats obtenus dépassent beaucoup les normes requises, ce qui paraît raisonnable et s'explique par la disposition de celle-ci sur le bord de la route, les rejets émanant de la Saniak et que le Pb se concentre au niveau de la surface des végétaux (JELASKA *et al* , 2007 ; TEDJAR , 2012).

### **IV.2.3.2- Le fer**

Le tableau 6 montre que le taux de Fe est compris entre 0.38 mg/l et 2.24 mg/l.

Les concentrations de Fe sont à la limite supérieure des normes OMS (1.5 mg/l) au niveau de la station de la lisière du reboisement durant les 2<sup>èmes</sup> et 3<sup>èmes</sup> prélèvements (1.03 et 1.25 mg/l) surtout au niveau des écorces et des cônes. La station de la cimenterie (1.36 et 2.21 mg/l) et la Saniak (1.31 et 2.24 mg/l) sont les plus polluées du fait de l'utilisation du fer comme rajout pour la cimenterie et élément fondamental dans la robinetterie et boulonnerie.

Nos résultats concernant les taux de fer présentent des fluctuations très importantes en fonction des stations. En effet, comparativement aux trois premières stations, nous constatons que les échantillons du pin d'Alep des deux autres stations (Saniak et Cimenterie) présentent des taux de fer supérieurs aux normes fixées par l'OMS de 1,5 mg/l (JELASKA *et al* , 2007 ; TEDJAR , 2012).

Le fer est le quatrième élément abondant dans l'écorce terrestre et le premier parmi les métaux lourds. On le trouve surtout sous forme  $Fe^{2+}$  ou  $Fe^{3+}$ .

Le fer dissous dans les eaux souterraines est sous forme réduite ( $Fe^{2+}$ ), qui est soluble.

Ce dernier est oxydé en  $Fe^{3+}$  par le contact avec l'oxygène de l'air, c'est pourquoi la concentration de fer dans les eaux bien aérées est rarement élevée. Le  $Fe^{3+}$  précipite sous forme d'hydroxydes insolubles dans l'eau et sont précipités ou adsorbés par les sédiments.

**Tableau 5** : Concentration du Pb et Fe (mg/l) dans les feuilles, Cône, Ecorce de pin d'Alep

Stations Prélèvements Mg/l		Ras Eroumia		Azlet El BEL		Lisière du reboisement		cimenterie		Saniak	
		Pb	Fe	Pb	Fe	Pb	Fe	Pb	Fe	Pb	Fe
P1	Aiguilles	0.59	0.48	0.31	0.92	1.06	1.03	0.46	1.45	1.49	1.31
	Cônes	0.48	0.81	0.34	1.15	1.10	1.24	0.35	1.89	1.51	1.68
	écorces	0.51	1.06	0.20	1.29	1.03	1.41	0.25	2.21	1.59	2.01
P2	Aiguilles	0.63	0.39	0.38	0.85	1.16	1.08	0.52	1.48	1.43	1.53
	Cônes	0.58	1.15	0.33	1.37	1.09	1.54	0.47	1.76	1.25	1.61
	écorces	0.62	1.25	0.21	1.35	1.13	1.48	0.29	2.12	1.37	2.24
P3	Aiguilles	0.63	0.38	0.67	0.48	1.25	1.19	0.75	1.41	1.49	1.57
	Cônes	0.80	1.14	0.76	1.21	1.16	1.29	0.62	1.91	1.37	1.65
	écorces	0.29	1.38	0.37	1.39	1.04	1.53	0.59	2.09	1.30	2.19
P4	Aiguilles	0.62	0.95	0.69	0.98	1.19	1.04	0.91	1.36	1.61	1.48
	Cônes	0.71	1.15	0.87	1.41	1.14	1.21	0.72	1.95	1.53	1.74
	écorces	0.29	1.26	0.41	1.47	1.13	1.65	0.63	2.19	1.49	2.14

#### IV.2.3.3- Le cuivre

Le cuivre est présent dans la nature dans un large éventail de gisements de minerai.

Les résultats sont étalés dans le tableau 6.

On constate qu'à l'exception de la Saniak c'est-à-dire celle de la zone industrielle où les valeurs retrouvées concernant les analyses du cuivre sont trop élevés (1.11 et 2.59 mg/l) et

dépassent les normes requises fixées à 1mg/l et s'expliquent par l'utilisation puis le rejet des ce métal dans l'atmosphère (KUKOLA, 2000 ; ADEKUNLE, 2010).

#### IV.2.3.4- Le zinc

Existe dans la nature ou ce métal représente environ 0,02 % de la lithosphère; il est donc relativement abondant. Les teneurs en zinc indiquent des concentrations sont en dessous du seuil pour toutes les stations à l'exception de celle de la Saniak, avec des valeurs trop élevées allant jusqu'à 6.47 mg/l.

Par ailleurs, cette présence notable du zinc dans la Saniak , et les teneurs enregistrées au niveau de cette station qui sont supérieures à la concentration maximale recommandée par l'OMS dans les végétaux (5mg/l) (annexes 1) est expliquée par le zincage utilisé dans la protection des robinets et des boulons (DAVIS *et al*, 2001 ; YRA ,2006).

**Tableau 6** : Concentration du Cu et Zn (mg/l) dans les feuilles,  
Cône, Ecorce de Pin d'Alep

Stations prélèvements		Ras Eroumia		Azlet El BEL		Lisière du reboisement		Cimenterie		Saniak	
		Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
P1	Aiguilles	0.07	0.53	0.07	0.77	0.07	0.68	0.12	1.34	1.25	3.21
	Cônes	0.11	0.60	0.04	0.27	0.07	0.51	0.18	1.71	1.31	3.76
	écorces	0.05	0.35	0.04	0.44	0.18	0.68	0.11	0.84	1.71	5.96
P2	Aiguilles	0.08	0.54	0.08	0.78	0.08	0.69	0.16	1.34	1.11	3.05
	Cônes	0.14	0.62	0.13	0.35	0.19	0.68	0.18	1.71	1.45	3.49
	écorces	0.07	0.41	0.35	0.47	0.32	0.74	0.11	0.84	1.89	5.86
P3	Aiguilles	0.07	0.65	0.14	0.78	0.12	0.73	0.15	1.39	1.45	4.47
	Cônes	0.15	0.67	0.13	0.29	0.24	0.67	0.21	1.62	1.72	5.98
	écorces	0.07	0.45	0.47	0.48	0.34	0.68	0.14	0.87	2.59	6.27
P4	Aiguilles	0.05	0.66	0.21	0.81	0.45	0.64	0.18	1.06	1.52	4.47
	Cônes	0.24	0.69	0.19	0.3	0.76	0.59	1.24	1.79	1.79	6.04
	écorces	0.49	0.47	0.08	0.52	0.95	0.72	1.08	0.85	2.51	6.47

Dans le reboisement d'EL Guettar nous avons constaté que les arbres de pin d'Alep évoluent bien dans les stations de Ras Eroumia et Azlet EL Bel malgré la pollution par les poussières du ciment, le sol calcaire et l'infestation par la chenille processionnaire du pin (*Thametopoea pityocampa* Schiff) (TEDJAR ,2003).

Seule la station de la lisière du reboisement qui semble être affectée car c'est la plus proche de la source de pollution par les poussières du ciment, du bord de la route nationale N°9 B sous l'influence de la poussière atmosphérique par le parc roulant à l'essence normale et au diesel ainsi que l'infestation parasitaire par la chenille processionnaire du pin (*Thametopoea pityocampa* Schiff) dont le taux d'infestation est relativement élevé atteignant le niveau 4 en lisière de reboisement (TEDJAR, 2003 , KAREN *et al* ,2007 ).

### **IV.3 Analyses des retombées particulières du ciment sur le sol**

Chaque sol hérite de son matériau parental, un certain nombre de propriétés majeures notamment sa composition géochimique initiale.

Ainsi le sol contient naturellement les métaux lourds issus de la roche mère sur laquelle il s'est formé. Les sols formés par les sédiments calcaires ou marneux, ou des schistes contiennent 0,5 à 1 mg/kg de Cd et 25 à 50 mg/kg de Cu (ALTUG & BALKIS, 2009).

On ne dispose pas de normes standards internationales et spécifiques pour les sols mais on se réfère à la qualité et aux facteurs influençant les paramètres physico-chimiques. Nous avons utilisés les normes Germano-néerlandaises qui sont considérées comme références pour la communauté Européenne, sans oublier que les normes Françaises sont en cours de finalisation et la carte de la pollution des sols français n'a pas encore été établie (PERVEEN *et al* , 2006).

On distingue des valeurs références(VR) en dessous desquelles le sol n'est pas pollué, des valeurs seuils (VS) qui signifient qu'une prise en charge est nécessaire et des valeurs d'intervention(VI) qui signifient qu'une intervention est urgente et inéluctable( annexes 3).

L'impact des poussières émises par les cimenteries et les rejets de la Saniak sur le sol ont démontré des variations importantes des caractéristiques physico-chimiques inhibant les activités physiologiques normales du sol.

Nos résultats sont exposés dans les tableaux 7,8 et 9 durant les deux années d'échantillonnage (2007 - 2008).

#### **IV.3.1 Le potentiel hydrogène (pH) du sol:**

En comparant nos résultats avec ceux de la station témoin (pH= 7 ,48) et les normes OMS selon l'aspect géochimique du sol qui sont comprises entre 6,5 et 7,50 ; on constate que toutes nos stations ont un pH basique variant entre 7,1 et 8,80 ce qui dépasse les valeurs références (annexes 2).

Ce pH alcalin est caractéristique des particules provenant de la cimenterie, en effet la composition du ciment en  $\text{CaCO}_3$  reflète bien ce phénomène d'alcalinité du sol qui sera un obstacle pour le développement des plantes (AZUMI & BICHI, 2010).

La station 5 celle de la Saniak, fait exception et est dans les normes OMS (6,5 et 7,50) avec un pH compris entre 6.6 à 7,50 car elle est influencée par les rejets acides de cette unité.

Le pH affecte toutes les réactions chimiques qui se déroulent dans le sol. Il influence le bien-être des microorganismes du sol qui nourrissent les plantes. Il a aussi un impact sur la santé et la nutrition des plantes (OFFEP, 1998).

Un pH alcalin limite le passage des métaux lourds de la phase solide à la phase solution du sol puis à la plante, par contre un pH acide favorise leurs pénétrations. On peut conclure que la station 5 de la Saniak présente un danger pour l'infiltration des eaux contenant des métaux toxiques pour les nappes phréatiques (POPESCU *et al*, 1998).

Des prélèvements ont aussi été effectués dans 2 stations l'une à 100 m de la cimenterie et l'autre à 1000 m à des profondeurs de 20, 40 et 80 cm (tableau 9).

Il ressort de cette étude que le pH diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la cimenterie, source d'émission de poussières à base de  $\text{CaCO}_3$  qui ont rendus le sol alcalin.

Le sol en surface subit aussi cette influence et on a constaté que la profondeur diminue aussi l'acidité (le pH) qui favorise la mobilité des métaux lourds (ANURADHA, 2005).

#### **IV.3.2- La température du sol**

La température peut intervenir directement en facilitant, lorsqu'elle s'élève la dissolution des composés ou indirectement en stimulant la biodégradation de la matière organique et donc la production de substances acides ou complexantes favorisant ainsi l'activité biologique (RAMADE, 1998).

D'après nos résultats elle varie entre 20,8 et 23°C, ce qui est dans les normes requises qui sont comprises entre 20 et 25°C. Ces variations de températures au sein de nos stations sont justifiées par l'influence des températures extérieures du milieu (RAMADE, 1998).

#### **IV.3.3- La conductivité électrique du sol**

En 2007, elle a fluctué entre 184 et 597  $\mu\text{s}/\text{cm}$  pour l'ensemble de nos stations, néanmoins la station 1 présente un sol pauvre car sa conductivité est  $< 200 \mu\text{s}/\text{cm}$  durant les 2<sup>èmes</sup> et 3<sup>èmes</sup> prélèvements. De même que la station 4 durant le prélèvement 3 dispose d'une conductivité inférieure aux normes (200  $\mu\text{s}/\text{cm}$  et 1200  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), donc c'est un sol pauvre et qui est hostile au développement des plantes sauf s'il y a traitement (POPESCU *et al*, 1998).

En 2008, elle est comprise entre 144 et 622  $\mu\text{s}/\text{cm}$  ; les stations 1 et 4 durant les 2<sup>èmes</sup> et 3<sup>èmes</sup> prélèvements montrent des valeurs en dessous des normes requises comme en 2007.

En règle générale, un bon sol dispose d'une conductivité comprise entre de 200  $\mu\text{s}/\text{cm}$  et 1200  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Tous les sols inférieurs à 200 signifie qu'il n'y a pas suffisamment de nutriments disponibles pour la plante et seraient considérés comme des sols hostiles à toute activité microbienne (TRAMEL-SCHAUB & FEIX, 2005).

La diminution de la conductivité électrique, peut être expliquée par la réduction du taux de la charge des minéraux dans le sol, les fluctuations seraient dues à la qualité et à la quantité de cette charge en minéraux (TRAMEL-SCHAUB & FEIX, 2005).

Une conductivité au dessus de 1200  $\mu\text{s}/\text{cm}$  indique qu'il y a trop d'engrais élevés en sel ou un problème de salinité en absence de drainage. Il existe donc une corrélation température-conductivité électrique, cela s'explique par la mobilité des ions qui augmente avec la température. Depuis de nombreuses années la conductivité électrique des extraits de sol par l'eau est utilisée comme diagnostic de la salinité des sols, ainsi que pour le classement d'aptitude des eaux pour l'irrigation (TRAMEL-SCHAUB & FEIX, 2005).

Le tableau 9 montre les variations de la conductivité selon l'éloignement par rapport à la cimenterie ainsi que la profondeur du sol (20,40 et 80 cm).

De ces résultats nous pouvons déduire qu'au fur et à mesure que l'on pénètre dans le sol la conductivité diminue atteignant des valeurs qui rendant ainsi le sol opposé au développement des plantes (TRAMEL-SCHAUB & FEIX, 2005, NAZIF *et al*, 2006).

#### **IV.3.4- Humidité relative du sol**

L'humidité du sol est influencée par la température extérieure, des précipitations, de la nature et la direction des vents (AWQC, 2001).

On constate une diminution de l'humidité jusqu'à 6.95% dans la station 5 durant les 3<sup>èmes</sup> prélèvements qui ont eu lieu durant l'été et correspondant aux périodes sèches.

Durant une même période de prélèvement, il n'y a pas eu de variations importantes de pourcentage d'humidité relative dans nos stations. L'humidité agit directement dans les processus de précipitation et de solubilisation (TRAMEL-SCHAUB & FEIX, 2005).

**Tab 7 : caractères physicochimiques du sol (2007)**

Prélèvement	Station	pH	Humidité (%)	Conductivité (22°C) µs/cm	Température (°C)
P1	Témoïn	7.48	16.40	311	21.5
	S1	8.80	16.33	199	21.5
	S2	8.63	17.20	321	21.5
	S3	8.30	14.80	268	21.5
	S4	8.42	16.33	236	21.5
	S5	6.90	15.20	364	21.5
P2	S1	8.70	13.66	147	21.7
	S2	8.40	14.15	218	21.7
	S3	7.70	13.32	622	21.7
	S4	7.60	14.85	261	21.7
	S5	7.50	15.97	425	21.7
P3	S1	7.80	8.60	184	23
	S2	7.59	9.15	161	23
	S3	7.80	7.25	192	23
	S4	7.75	7.37	153	23
	S5	6.60	6.95	182	23
P4	S1	8.50	9.24	234	22.5
	S2	8.60	9.16	274	22.5
	S3	7.80	8.73	303	22.5
	S4	8.40	8.90	278	22.5
	S5	7.20	6.85	597	22.5

**Tableau 8 : caractères physicochimiques du sol (2008)**

Prélèvements	Station	pH	Humidité (%)	Conductivité (22°C) µs/cm	Température (°C)
P1	Témoïn	7.45	19.40	265	20.8
	S1	8.20	19.33	198	20.8
	S2	8.35	21.20	326	20.8
	S3	8.05	18.80	263	20.8
	S4	8.18	19.31	234	20.8
	S5	7.15	16.20	366	20.8
P2	S1	8.21	15.64	144	20.9
	S2	8.04	15.35	214	20.9
	S3	7.1	14.38	622	20.9
	S4	7.30	14.85	264	20.9
	S5	7.50	18.97	424	20.9
P3	S1	7.95	9.67	186	23
	S2	7.79	8.98	161	23
	S3	7.09	8.26	196	23
	S4	7.50	8.05	157	23
	S5	7.24	8.12	182	23
P4	S1	7.50	10.24	234	23
	S2	8.20	10.29	284	21,8
	S3	7.50	10.06	325	21,8
	S4	8.10	10.07	378	21,8
	S5	7.21	11.90	591	21,8

**Tableau 9 : Evaluation du pH et de la conductivité du sol  
à différentes profondeurs (20,40 et 80 cm)**

Paramètres Prélèvements Stations			pH	Conductivité (22°C) $\mu\text{s/cm}$
P1	S1- 100m cimenterie	20 cm	9.95	179.52
		40 cm	9.17	125.27
		80 cm	8.72	89.98
	S2- 1000m cimenterie	20 cm	9.16	597.47
		40 cm	9.04	69.74
		80 cm	8.81	14.59
P2	S1- 100m cimenterie	20 cm	9.05	884.14
		40 cm	8.93	721.67
		80 cm	8.09	151.09
	S2-1000m cimenterie	20 cm	9.79	732.48
		40 cm	9.04	98.49
		80 cm	8.75	94.53

#### **IV.3.5- Les métaux lourds**

Dans les sols, les métaux lourds se concentrent dans la fraction solide, où ils se répartissent dans les différentes fractions organiques et minérales (BELAY, 2010). L'objectif de l'étude la pollution du sol par les métaux lourds consiste à établir un diagnostic de l'état du sol en comparant nos résultats dans les tableaux 10 et 11 avec les valeurs référence, valeurs seuils et valeurs d'intervention (annexes 2).

##### **IV.3.5.1 - Cadmium.**

Nos résultats sont représentés dans les tableaux 10 et 11.

Les concentrations de cadmium durant les prélèvements des années 2007 et 2008 variaient de 2 à 8 ppm.

La station 1 durant l'année 2007 aux 1<sup>ier</sup> et au 2<sup>ème</sup> prélèvement montre des valeurs comprises entre 7 et 9 ppm, ce qui signifie qu'il y a une pollution accentuée quelque soit les normes CE, OMS et Algériennes. Ces dernières sont les moins sévères (annexes 2).

Si on considère les normes CE et OMS l'ensemble de nos stations seront hors normes et de ce fait il serait souhaitable de revoir la grille des normes et valeurs limites Algériennes.

Cette augmentation de concentration du cadmium est justifiée par le trafic important des camions de gros tonnage qui transportent les agrégats de la carrière vers l'unité de concassage (SCAEK, 2006).



Le cadmium provient des garnitures de freins, des disques d'embrayage des camions ainsi que les déchets de pneus incinérés à l'air libre (ADEKUNLE *et al*, 2010).

Durant l'année 2008 c'est similaire pour la station 1 qui est la plus polluée avec un taux de 12 ppm, confirmant ainsi l'impact de la pollution au cadmium par le parc roulant de la cimenterie. La station 5 présente aussi des valeurs comprises entre 5 et 8 ppm, ce qui est supérieur aux normes OMS et CE durant les deux années de prélèvements. Cela est justifié par la position de l'unité Saniak qui est proche de la route d'une part et d'autre part par les rejets hydriques contenant du cadmium qui s'associe favorablement avec la calcite dans les sols calcaires (ROONEY, 2007, ADEKUNLE *et al*, 2010).

En comparant nos résultats avec les normes Algériennes nous pouvons en déduire que les stations 2, 3 et 4 sont épargnées par la pollution au cadmium (annexes 2).

Nous conseillons vivement aux riverains qui exploitent le sol au niveau des stations 1 et 5 de s'abstenir car cela constitue un danger potentiel pour la santé humaine quand on sait que les végétaux peuvent accumuler des quantités non négligeables de cadmium par les racines, contaminant ainsi la chaîne alimentaire (BOUDECHICHE & LEGROS, 2005).

#### **IV.3.5.2 - Plomb**

Les tableaux 10 et 11 étalent les résultats inhérents aux taux de plomb dans le sol.

Le sol de la station témoin dont les valeurs sont comprises entre 96 et 113 ppm se situent dans la classe des sols non pollués selon les normes Algériennes et OMS (annexes 2), ces valeurs représentent l'origine naturelle du Pb (PICHARD, 2003). La station 1 présente des taux élevés de Pb variant entre 259 et 344 ppm en 2007 et de 175 à 396 ppm en 2008. Ces résultats indiquent que la station 1 est polluée même si on considère les normes Algériennes (200ppm) qui sont très élevées par rapport aux normes CE (50ppm) et OMS (100ppm). Cette pollution est due aux rejets atmosphériques du parc roulant utilisant du Pb comme anti-détonnant (carburant avec Pb), de la carrière de Djebel Medjounès à la station de concassage (DEWS, 1999). C'est un polluant primaire persistant, sa durée de vie dans le sol est de 1700 ans, il peut être bioaccumulé dans les chaînes alimentaires (SHARMA & AGRAWAL, 2005). La station 5 est aussi contaminée et dispose des taux qui variaient de 204 à 382 ppm en 2007 et de 206 à 482 en 2008. Ces valeurs sont supérieures aux normes Algériennes qui sont plus tolérantes par rapport aux normes CE et OMS. Les stations 2,3 et 4 qui ne dépassent pas le seuil de 200 ppm des normes Algériennes et semblent échapper à cette pollution par les métaux lourds, toutefois si on se réfère aux normes CE (50 ppm) et OMS (100 ppm), ces stations seront classées parmi les sols contaminés.

**Tableau 10 : Quantités Cd et Pb (2007)**

Prélèvements	Station	Cd ppm	Pb Ppm
P1	Témoin	2	96
	S1	9	283
	S2	5	132
	S3	6	155
	S4	6	178
	S5	8	251
P2	S1	8	259
	S2	3	144
	S3	7	130
	S4	6	110
	S5	9	233
P3	S1	7	344
	S2	3	127
	S3	4	106
	S4	4	121
	S5	7	204
P4	S1	7	299
	S2	4	130
	S3	3	173
	S4	5	140
	S5	7	382

**Tableau 11 : Quantités de Cd et Pb (2008)**

Prélèvements	Station	Cd ppm	Pb Ppm
P1	Témoin	2	113
	S1	12	257
	S2	6	138
	S3	5	149
	S4	6	168
	S5	8	482
P2	S1	9	396
	S2	3	125
	S3	6	108
	S4	8	196
	S5	8	318
P3	S1	10	329
	S2	2	168
	S3	3	148
	S4	3	159
	S5	5	206
P4	S1	9	175
	S2	5	106
	S3	4	149
	S4	3	226
	S5	7	367

#### IV.3.6- Analyse des oxydes des métaux dans le sol à différentes profondeurs

Les sols contaminés par les métaux lourds est une conséquence néfaste pour l'environnement car ces derniers ne sont pas dégradables. Ils peuvent persister longtemps dans les écosystèmes terrestres et aquatiques et constituer ainsi un danger potentiel par bioaccumulation le long de la chaîne trophique (SHARMA & AGRAWAL, 2005).

D'après les résultats représentés dans le tableau 13, les taux des oxydes :

\*Le SiO<sub>2</sub> varie de 30,02 à 35, 58 mg/kg. On remarque que le taux de SiO<sub>2</sub> est inversement proportionnel à la profondeur et diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la cimenterie source de pollution (ABRAHAMS, 2002).

\*L'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Les taux de l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varient entre 14,90 à 80 cm et 16,74 mg/kg à 20cm au niveau de la station1 au 1<sup>er</sup> prélèvement par contre au second, il a oscillé entre 16,23 à 80cm et 17,8 mg/kg à 20cm. Au niveau de la station 2 On retrouve les valeurs comprises entre 13,61 et 14,75 mg/kg au 1<sup>er</sup> prélèvement et entre 14,02 et 17.24 au 2<sup>ème</sup> prélèvement.

Ce sont les mêmes constatations qu'au niveau du SiO<sub>2</sub>, c'est à dire au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la cimenterie ou bien que l'on descend en profondeur jusqu'à 80 cm. Donc au fur et à mesure que l'on descend en profondeur c'est l'aspect géochimique qui domine.

De même que la distance joue un rôle limitant pour les taux d'oxydes et de ce fait les stations distantes de 100 m sont plus polluées que les stations situées à 1000 m de la source d'émission de poussières (BOUMEGOURA & HABBAS, 2003 ; FERFER, 2003).

Il est de même pour le CaO et cela s'explique par le fait que la couche superficielle est contaminée par la nature des poussières du ciment sous forme de CaO qui se transforment en CaCO<sub>3</sub> sous l'influence de la nature du sol de la région et en tenant compte de la période d'analyse car cela serait influencé par le drainage des substances en période de fortes précipitations (SHARMA & AGRAWAL, 2005).

Les minéraux créés durant la pédogénèse sont des argiles, des oxydes de fer, d'aluminium, des carbonates, des sulfates et des phosphates. Issus directement ou indirectement des minéraux primaires de la roche mère, ils sont de très petite taille et considérés comme les principaux constituants minéralogiques des sols ayant un rôle dans la rétention des éléments métalliques (BOUMEGOURA & HABBAS, 2003 ; FERFER, 2003).

La contamination du sol d'Ain El Kebira est le résultat d'une trentaine d'années de pollution.

La décontamination du site repose sur les normes citées en annexes 3.

**Tab 12 :** Variation des oxydes des métaux dans le sol à des profondeurs différentes (2008)

Prélèvements Stations Profondeur			Les oxydes (Mg/kg)							
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	So <sub>3</sub>
P1	S1- 100m/ cimenterie Profondeur en cm	0-20	35.58	16.74	8.53	23.82	2.83	1.14	0.15	-0.11
		20-40	33.19	15.94	6.24	22.19	2.18	1.17	0.20	-0.19
		40-80	32.80	14.90	6.67	21.61	2.15	1.05	0.18	-0.08
	S2-1000m/ cimenterie Profondeur en cm	0-20	34.75	14.74	7.72	21.49	2.02	0.99	0.19	-0.14
		20-40	33.82	14.18	7.65	21.09	2.04	0.95	0.16	-0.27
		40-80	31.52	13.61	7.68	20.32	1.91	0.81	0.15	-0.23
P2	S1- 100m/ cimenterie cimenterie Profondeur	0-20	34.91	17.8	7.81	22.12	1.75	1.05	0.47	0.35
		20-40	31.26	17.42	6.91	21.31	1.81	0.95	0.41	0.85
		40-80	30.02	16.23	9.79	17.92	1.97	1.03	0.48	0.24
	S2-1000m/ cimenterie Profondeur en cm	0-20	36.92	17.24	9.52	19.39	1.85	1.05	0.44	0.24
		20-40	35.45	17.08	9.65	18.54	1.84	1.09	0.49	0.27
		40-80	30.19	14.02	5.94	18.09	1.58	0.74	0.37	0.98

#### **IV.4- Eaux superficielles oued Ezzatine**

Cet Oued a de tout temps été considéré comme une zone humide de premier plan par les riverains et notamment les habitants d'Ain EL Kebira, d'El Kharba et AinTouila (DEWS, 1999). Nos résultats sont représentés dans le tableau N°13, 14 et 15.

##### **IV.4.1- La température :**

Les températures sont en dessous des normes admises, sauf la station de la Saniak qui a présenté des valeurs élevées (jusqu'à 25°C) et cela est dû aux rejets des eaux chaudes durant les 3<sup>èmes</sup> prélèvements effectués en été. La température ne constitue pas un facteur limitant pour la qualité des eaux d'Oued Ezzatine (KHELIFA, 1999).

##### **IV.4.2- Le pH :**

Le pH variait entre 6,4 et 8,9 durant l'année 2007. En 2008 il a varié entre 7 et 8,4 par contre en 2009 entre 6,1 et 8,6. Sa variation durant l'année 2007 au niveau des stations 3 et 4 dans les prélèvements 1 et 2 est due aux excès de poussières émises soit de la cimenterie soit des unités de carrelage qui ne disposent d'aucun système de traitement des poussières.

En général le pH de nos stations est dans les normes requises qui sont comprises entre 6,5 et 8,5. Cette augmentation du pH donne à l'eau une nature carbonatée, qui aura pour conséquence un effet beaucoup plus entartrant que corrosif en particulier sur les canalisations et généralement sur le réseau de distribution. En général le pH est lié à la nature des terrains traversés (MAGDELAINE, 2006, MUDASSAR *et al*, 2006).

##### **IV.4.3- La conductivité :**

La conductivité variait entre 411 et 1371  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Ces valeurs sont à la limite maximale des normes OMS et CE (annexes 4) dans toutes nos stations et durant tous nos prélèvements de 2007 à 2009. Cette élévation de la conductivité témoigne de la charge minérale et les poussières contenues dans les eaux d'Oued Ezzatine (DOROSZCZUK, 2003). En se référant à la grille de classification des rivières nous pouvons déduire que les eaux d'Oued Ezzatine sont de qualité passable (NOUAR *et al*, 2006).

#### **IV.4.4- Matières en suspension :**

Les tableaux 13, 14 et 15 montrent les résultats qualitatifs des matières en suspension dans nos stations d'échantillonnage pendant les 04 prélèvements trimestriels durant les années 2007,2008 et 2009.

Les concentrations des MES varient durant l'année 2007 du 1<sup>er</sup> au 4<sup>ème</sup> prélèvement de 35 à 145 mg/l.

Durant l'année 2008 de 32 à 95 mg/l. Quand à l'année 2009 elles oscillent entre 28 et 80 mg/l.

Les stations 3 et 4 sont les plus contaminées du fait de leurs rapprochement du point de rejets des usines de carrelage et de la cimenterie ; surtout en hiver avec le drainage des MES par les eaux de ruissèlement (SABAH, 2006).

La station 6 est la moins contaminée car elle se trouve loin des sources de pollution et cela se traduit par le phénomène d'autoépuration et de sédimentation des MES dans Oued Ezzatine (PESSON, 1980 ; BOUHARATI et al, 2011).

D'après nos résultats les quantités des MES ont dépassé les normes de 30 mg/l, cela montre bien que l'effet des poussières est significatif au niveau de Oued Ezzatine.

En se référant à la grille de classification des rivières (annexes 4) Oued Ezzatine est classé dans la catégorie 3 donc excessivement pollué.

#### **IV.4.5- Les métaux lourds :**

##### **IV.4.5.1- Le Chrome (Cr<sup>6+</sup>)**

Les valeurs varient entre 0,01 et 0,17 mg/l durant l'année 2007 ; c'est la station 5 celle du point de rejet de la Saniak qui est la plus contaminée, correspondant ainsi au chromage des produits dans les chaînes de production de cette unité (<http://www.bcr.dz>).

En 2008, la concentration est toujours élevée dans la station 5 variant ainsi de 0,01 à 0,41 mg/l.

En 2009 on a constaté la même évolution de la concentration du Cr<sup>6+</sup> de 0,02 à 0,69 mg/l.

La station 5 qui présente un taux de contamination très élevé par rapport aux autres stations a aussi montré une pollution excessive durant le 2<sup>ème</sup> prélèvement en 2009 et cela s'est expliqué d'après nos investigations par une panne de la station d'épuration de l'unité SANIAK (DAVIS, 2001 ; DEMIRAK et al, 2006 ; BELAY, 2010).

#### IV.4.5.2-Le Plomb

L'usage de différents métaux lourds tels que le chrome, le zinc, le plomb et le cuivre par l'unité de la Saniak dans la chaîne de production dont la quelle la matière première subit a un phénomène de corrosion et des traitements de surface par des revêtements métalliques tels que le chromage, le cuivrage et le zincage (<http://www.bcr.dz>). Cela se traduit par le taux élevé de métaux lourds variant de 0,27 à 1.37 mg/l au niveau de la station N°5, malgré la présence d'une station d'épuration, il y a des rejets accidentels de ces éléments expliquant sa mauvaise maintenance (PICHARD, 2003). En plus de l'influence de l'unité Saniak cette station est aussi influencée sa position limitrophe à la RN 9B (TEDJAR, 2011).

**Remarque :** On remarque que les normes locales Algériennes applicables sont dépassées par rapport aux normes européennes, si nous devons appliquer ces normes nos résultats seront plus affolants, tels que le plomb où les normes locales (1mg/l) sont le double de celle des normes européenne (0,5 mg/l).

#### IV.4.5.3-Le Cuivre

D'après nos résultats représentés dans les tableaux 13,14 et 15 on constate que les concentrations de Cu sont comprises entre :

En 2007, entre 0,01 et 1,78 mg/l durant nos prélèvements.

En 2008 entre 0,01 et 1,96 mg/l

En 2009 entre 0,01 et 0,96 mg/l

La station 5 est la plus contaminée présentant ainsi des valeurs supérieures aux normes de la grille de classification des rivières (annexes 4).

Ces valeurs signifient qu'il y a pollution par le cuivre au niveau de la station 5 c'est-à-dire à la sortie de la Saniak surtout durant l'année 2007 (AZUMI et al, 2010).

Donc nous déduisons de nos résultats que le cuivre libéré suite aux opérations de fabrication a maintenu des concentrations élevées surtout dans les stations 4 et 5 d'oued Ezzatine.

Cette station proche de la source de rejets constitue un danger potentiel pour oued Ezzatine (EMILLIAN, 2004). D'après nos résultats la station 6 qui est limitrophe à la station 5 la plus polluée est normale et de ce fait elle constitue un exemple type dans l'autoépuration d'oued Ezzatine (SHUHAIMI-OTHMAN, 2007).

#### **IV.4.5.4 -Le Fer**

Les concentrations de Fe sont indiquées dans les tableaux 13, 14 et 15.

En 2007 les valeurs comprises entre 0,01 et 1,59 mg/l.

En 2008 les valeurs comprises entre 0,04 et 1,5 mg/l.

En 2009 les valeurs comprises entre 0,02 et 1,91 mg/l

Le maximum a été observé en 2009 à la station 5 représentent la sortie des rejets hydriques de la Saniak qui utilise le cuivre dans la robinetterie et boulonnerie.

Un cas particulier mérite d'être évoqué est celui de la station 1 qui est localement contaminée et atteignant en 2007 durant les 4 prélèvements 1,03 mg/l ; 1,45 en 2008 et 1,91 en 2009. Cette contamination est due aux rajouts des produits additifs à base de fer dans la fabrication de ciment (ZOHOUN et al, 1993 ; SCAEK, 2006 ).

#### **IV.4.5.5 -Le Zinc**

Les concentrations de Zn sont comprises entre 0,01 et 1,71 mg/l.

Les tableaux 13, 14 et 15 représentent les résultats d'analyses physico-chimiques et des métaux lourds au niveau de Oued Ezzatine (PICHARD, 2005).

Durant l'année 2007 seule la station 5 dépasse les normes requises de qualité des eaux de surface. Le reste ne présente pas de danger potentiel pour la rivière.

On constate une forte contamination dans la station 5 durant l'année 2008 au 4ème prélèvement : 2,89 mg/l.

Cette contamination nous a incité à approfondir nos investigations et nous avons pu établir la confirmation que c'est une pollution accidentelle due à une défaillance au niveau de la station d'épuration de l'unité Saniak.

C'est pendant cette année que la contamination a été importante atteignant le niveau 3 dans la grille de classification dans la station 5 mais l'ensemble des autres sont au niveau 1 et 2.

En 2009 on a assisté à une diminution de la pollution au niveau de toutes les stations par rapport aux années précédentes sauf la station 5 qui garde une concentration de Zn relativement élevée : 0.51 mg/l (DERRADJI et al, 2004 ; FRENKEN, 2005).

**Tableau 13 : Analyses physico-chimiques et métaux lourds des eaux d'Oued Ezzatine (2007)**

Prélèvements Stations		T(C°)	Conductivité µs/cm (400)	pH (6.5-.5)	MES (30)	Cr <sup>6+</sup>	Pb	Cu	Fe	Zn
P1	S1	18	1151	8.5	75	0,02	0,12	0,01	0,75	0,03
	S2	18	1029	8.4	79	0,13	0,01	0,16	0,01	0,06
	S3	18	862	8.5	148	0,05	0,02	0,39	0,05	0,04
	S4	18	767	8.7	120	0,03	0,05	0,45	0,02	0,04
	S5	21	1360	6.9	47	0,17	0,27	1,12	1,19	0,79
	S6	18	1141	7.5	39	0,02	0,03	0,20	0,03	0,02
P2	S1	19	1141	7.7	89	0,01	0,13	0,18	0,79	0,02
	S2	19	1360	7.5	95	0,02	0,05	0,56	0,02	0,41
	S3	19	812	8.5	102	0,06	0,02	0,42	0,06	0,39
	S4	19	660	8.9	86	0,04	0,06	0,93	0,02	0,48
	S5	22	1361	6.6	46	0,15	0,49	1,21	1,59	1,55
	S6	19	912	8.2	41	0,03	0,03	0,41	0,19	0,21
P3	S1	21	1162	7.5	52	0,03	0,13	0,08	1,03	0,32
	S2	22	1284	7.9	57	0,05	0,06	0,66	0,04	0,28
	S3	22	840	7.5	94	0,06	0,02	0,72	0,23	0,38
	S4	22	680	8.1	62	0,07	0,05	1,05	0,61	0,42
	S5	24	1371	6.2	85	0,16	0,53	1,78	1,31	1,61
	S6	22	1011	8.0	43	0,06	0,02	0,49	0,08	0,20
P4	S1	18	1166	7.8	49	0,01	0,17	0,13	0,95	0,26
	S2	19	1307	8.1	75	0,07	0,01	0,58	0,02	0,29
	S3	19	951	8.3	72	0,12	0,07	0,75	0,38	0,32
	S4	19	732	8.2	49	0,07	0,06	0,95	0,41	0,38
	S5	22	1385	6.4	38	0,13	1,37	1,58	1,22	1,53
	S6	19	1173	8.3	35	0,05	0,08	0,82	0,05	0,17

**Tableau 14 : Analyses physico-chimiques et métaux lourds des eaux d'Oued Ezzatine(2008)**

Prélèvements Stations		T(C°)	Conductivité µs/cm	pH	MES mg/l	Cr <sup>6+</sup> mg/l	Pb mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l
P1	S1	14	575	8,1	84	0,01	0,13	0,01	1,45	0,02
	S2	15	592	7,7	49	0,12	0,02	0,02	0,93	0,05
	S3	15	550	8,4	87	0,07	0,06	0,04	0,23	0,07
	S4	15	636	8,6	58	0,02	0,04	0,01	0,52	0,02
	S5	17	513	7,1	39	0,25	0,19	0,13	1,35	0,02
	S6	15	411	8,2	32	0,01	0,03	0,07	0,56	0,03
P2	S1	17	482	7,5	87	0,02	0,11	0,05	0,95	0,06
	S2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	S3	18	779	8,5	71	0,06	0,07	0,21	0,18	0,04
	S4	18	790	7,9	57	0,02	0,02	0,17	0,04	0,02
	S5	20	772	7,0	95	0,38	0,16	0,12	1,44	0,79
	S6	18	440	7,8	41	0,01	0,02	0,09	0,05	0,09
P3	S1	20	513	7,6	90	0,03	0,11	0,07	0,73	0,06
	S2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	S3	21	841	8,1	45	0,08	0,06	0,07	0,14	0,06
	S4	21	822	8,3	67	0,03	0,03	0,25	0,52	0,08
	S5	24	843	7,1	41	0,41	1,02	0,14	1,18	0,78
	S6	22	437	8,1	49	0,02	0,02	0,64	0,64	0,06
P4	S1	19	489	7,6	79	0,02	0,15	0,06	1,21	0,05
	S2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	S3	20	795	8,3	69	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06
	S4	20	788	8,4	47	0,02	0,09	0,07	0,15	0,07
	S5	23	841	7,6	38	0,32	1,54	1,96	1,50	2,89
	S6	19	497	8,0	41	0,01	0,04	0,31	0,77	0,23



**Tableau 15** : Analyses physico-chimique et métaux lourds des eaux d'Oued Ezzatine(2009)

Prélèvements Stations		T(C°)	Conductivité µs/cm	pH	MES mg/l	Cr <sup>6+</sup> mg/l	Pb mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l
P1	S1	16	856	7,9	71	0,01	0,12	0,08	1,03	0,19
	S2	17	967	8,5	72	0,09	0,02	0,01	0,73	0,06
	S3	16	758	8,1	58	0,07	0,04	0,05	0,2	0,08
	S4	16	690	8,9	42	0,01	0,05	0,09	0,54	0,03
	S5	19	561	7,1	37	0,27	0,11	0,12	1,21	0,46
	S6	16	593	8,5	30	0,09	0,04	0,21	0,52	0,05
P2	S1	17	987	8,3	89	0,02	0,13	0,07	1,07	0,08
	S2	17	880	8,1	81	0,11	0,06	0,01	0,79	0,06
	S3	17	628	8,6	51	0,05	0,04	0,04	0,15	0,05
	S4	17	896	8,5	46	0,06	0,06	0,07	0,07	0,04
	S5	20	590	7,3	35	0,28	0,59	0,19	1,91	0,12
	S6	17	419	7,8	31	0,02	0,03	0,03	0,03	0,07
P3	S1	20	687	7,1	52	0,03	0,12	0,07	1,13	0,05
	S2	21	920	8,1	57	0,08	0,06	0,03	0,91	0,07
	S3	21	742	8,4	44	0,09	0,02	0,06	0,11	0,04
	S4	21	755	8,1	52	0,02	0,05	0,04	0,07	0,03
	S5	24	486	6,1	85	0,21	0,31	0,96	1,57	0,37
	S6	21	435	8,7	33	0,11	0,02	0,55	0,02	0,08
P4	S1	18	981	7,7	69	0,06	0,15	0,09	1,07	0,01
	S2	19	960	8,5	55	0,07	0,03	0,06	0,56	0,09
	S3	19	851	8,7	42	0,05	0,05	0,03	0,17	0,06
	S4	19	694	8,4	39	0,08	0,06	0,08	0,45	0,01
	S5	22	412	7,6	35	0,39	0,39	1,09	1,31	0,51
	S6	19	415	8,2	28	0,09	0,06	0,71	0,73	0,09

On peut conclure que l'auto-épuration dans Oued Ezzatine est significative car la station 6 qui devrait subir l'influence de la station 5 la plus contaminée présente des valeurs très proches des normes requises.

Au terme de nos analyses, nous pouvons classer oued Ezzatine en fonction de la grille standard multi-usage d'appréciation globale de la qualité des eaux ( annexes 4) comme étant un Oued très pollué appartenant aux classes 1B et 2 et même dans certains cas 3. En conséquence il est strictement prohibé d'utiliser les eaux de cet Oued soit pour l'irrigation ou bien l'abreuvement du cheptel ovin et bovin.

#### IV.5 Eaux souterraines

Les rejets industriels sont à l'origine de la contamination des eaux superficielles et souterraines. Pour mettre en évidence l'influence de ces rejets émanant de la cimenterie et la Saniak on a analysé les caractères physico-chimiques et la concentration des métaux lourds des eaux souterraines qui constituent la seule source d'approvisionnement en eau potable pour les habitants de la région d'Ain EL Kebira (HAZOURLI *et al*, 2007).

Nos résultats (tableaux 16 et 17) sont comparés avec les normes OMS, CEE et Algériennes (annexes 5).

#### **IV.5.1- La dureté :**

Les résultats relatifs à la dureté ou bien au titre hydrométrique sont représentés dans les tableaux N° 16 et 17.

Nos résultats ont montré que la dureté durant la 1<sup>ère</sup> phase d'analyses est comprise entre 19.8 et 39 mg/l. Les eaux de la station 03 sont les plus dures. Si on considère les normes OMS et CE on peut dire que notre eau est dure et cela est dû à la nature des sols très calcaires d'une part et les rejets de la cimenterie surtout la station 3 sous forme de  $\text{CaCO}_3$  d'autre part.

Par contre quand on s'est référé aux normes Algériennes nous avons conclu que nous sommes dans les normes car ces dernières sont trop tolérantes (JORADP, 2006).

#### **IV.5.2- La conductivité :**

La conductivité est représentée dans les tableaux N° 16 et 17. Elle est comprise entre 581 et 1154  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Les stations 3, 4 et 5 ont été les plus affectées et montraient des taux supérieurs aux normes variant ainsi entre 250 et 1000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Au delà de 1000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  la minéralisation est forte donc riche en sels minéraux (BRIGITTE *et al*, 2003).

Cela a confirmé leurs situations proches de la cimenterie.

#### **IV.5.3- Le pH :**

Le pH qui est compris entre 6.8 et 9 a révélé que ces valeurs sont dans les normes requises. Les stations 3 et 4 avaient un pH alcalin proche des limites supérieures à cause de leurs situations moyennes à la cimenterie et des unités de carrelage, ces dernières ne disposent pas de moyens de traitement comme les filtres presses .

#### **IV.5.4- La température**

Elle est représentée dans les tableaux 16 et 17 et variait entre 19,5 à 21,4°C. On a constaté que nous étions dans les normes requises inférieures à 25°C, soit CEE, OMS ou bien Algériennes (annexes 5). Néanmoins la station 01 a toujours présenté des températures relativement élevées par rapport aux autres stations car elle est limitrophe des rejets des eaux chaudes de la Saniak. Donc la température ne constitue pas de facteur limitant pour la bonne qualité des eaux.

#### **IV.5.5- La turbidité**

Toutes nos stations ont été dans les normes, donc inférieures à 5 NTU sauf la station 1 durant la seconde phase d'analyses qui a été influencée par les rejets de matières en suspension de la Saniak et des riverains (OLIVIER, 2005).

#### **IV.5.6- Les nitrates et les nitrites**

Les concentrations des nitrates et les nitrites qui sont représentées dans les tableaux 16 et 17 et variaient de 43,45 à 79,5 mg/l durant la 1<sup>ère</sup> phase et entre 31,5 et 69,5 mg/l durant la seconde. Ce sont les stations 2,3 et 4 qui ont présenté les taux les plus élevés et dépassaient le seuil admis de 50mg/l. Elles sont proches des terres agricoles à caractère céréalier, chargées d'engrais, des rejets domestiques des habitants dépourvus de réseaux d'assainissement et du cimetière à 200 m du broyeur. Ces rejets vont directement à Oued Ezzatine, cours d'eau qui alimente principalement la nappe phréatique de la région d'Ain El Kebira et oued Dehamcha. D'après nos résultats les taux de nitrites variaient entre 0,01 à 0,38 mg/l pour la 1<sup>ère</sup> phase et de 0,01 à 0,28 mg/l pour la seconde (DANIELPOL *et al*, 2003 ).

Donc les taux de nitrites ont été très élevés et dépassaient les normes Algériennes les moins sévères de 0,1mg/l alors que les normes CE et OMS sont 0,02 mg/l (annexes 5).

Cette augmentation des taux de nitrates et nitrites des eaux souterraines sont la conséquence de la pollution aux poussières du ciment avant l'installation du système de dépoussiérage, l'utilisation anarchique et abusive des engrais par les agriculteurs qui manquent de sensibilisation et de vulgarisation agricole.

Ces facteurs ont contribué à la contamination des terres agricoles diminuant ainsi leur rendement de 20 quintaux /ha avant l'implantation de ces unités industrielles à 03 quintaux/ha. Malgré la prise de conscience des partenaires exploitant la région surtout la cimenterie qui a installé le filtre à manche mais une sensibilisation des agriculteurs quant à l'utilisation abusive des engrais et la mise en place d'une STEP au niveau de la cimenterie sont une urgence pour la région.

#### **IV.5.7 - Les chlorures**

Les taux des chlorures qui variaient entre 56,8 et 125 mg/l étaient en dessous des normes soit OMS (250 mg/l) ou CEE (200mg/l) qui sont les plus sévères par rapport aux normes Algériennes (500mg/l). Donc les chlorures ne constituent pas de risque de contamination des eaux souterraines (RAMADE, 2007).

**Tableau 16 :** Analyse des caractères physico-chimiques des eaux souterraines (6 stations)

Paramètres Stations Prélèvement		Dureté mg/l	Conductivité µs/cm	pH	Nitrates mg/l	Nitrites mg/l	Chlorures mg/l
P 1	Stat 1	21	751	7,4	44,24	0,02	71
	Stat 2	20,2	658	7,1	60,91	0,21	71
	Stat 3	38	1056	7,8	69,58	0,29	56,8
	Stat 4	32,1	1024	7,7	72,58	0,38	100,6
	Stat 5	30,8	953	7,6	52,8	0,19	103,6
	Stat 6	20,8	564	6,8	53,58	0,06	56,8
P 2	Stat 1	22,4	759	7,4	49,5	0,02	71
	Stat 2	20,5	659	7,1	62,45	0,01	72
	Stat 3	36	1060	7,9	69,59	0,05	56,4
	Stat 4	38,2	1050	8,1	69,82	0,05	114,2
	Stat 5	28	975	7,9	55,14	0,03	99,4
	Stat 6	19,8	571	7,1	52,8	0,06	58,3
P 3	Stat 1	24	775	7,5	49,21	0,01	72
	Stat 2	21,4	668	7,2	54,9	0,15	74
	Stat 3	39	1091	8,5	74,17	0,09	57,4
	Stat 4	33,8	1150	8,4	79,5	0,14	125,2
	Stat 5	32	1100	7,9	53,42	0,19	121,05
	Stat 6	22,4	581	6,8	46,4	0,17	59,7
P 4	Stat 1	21	752	7,5	43,45	0,21	70
	Stat 2	22,1	661	7,2	52,91	0,02	71
	Stat 3	36,4	1072	7,4	79,1	0,13	56,9
	Stat 4	31,2	1080	7,6	63,23	0,18	119,2
	Stat 5	30,6	1051	7,2	52,20	0,15	111,4
	Stat 6	21,4	565	7,1	51,5	0,14	58,4

**Tableau -17.** Analyse physico-chimiques des eaux souterraines (4 stations).

paramètres stations prélèvements		Conductivité µs/cm	pH	T °C	Turbidité (NTU)	Nitrites mg/l	Nitrates mg/l
P1	S1	828	7,2	19,9	4,52	0,02	31,6
	S2	672	6,9	19,5	1,86	0,11	56
	S3	1185	7,7	19,6	0,94	0,28	59
	S4	1045	7,6	19,6	0,29	0,05	58,7
P2	S1	853	7,1	20,8	7,48	0,01	39,2
	S2	734	6,9	20,1	1,95	0,13	69,5
	S3	1120	7,6	20,2	1,05	0,11	66,4
	S4	1105	7,5	19,9	0,96	0,12	59
P3	S1	718	7,2	20,8	2,93	0,01	37,5
	S2	1091	7,5	19,9	0,52	0,08	32,1
	S3	1154	7,8	20,2	0,15	0,15	36,9
	S4	1058	7,8	19,8	2,15	0,01	31,5
P4	S1	9.19	7,1	21,4	3,58	0,01	36,8
	S2	689	7,6	21,1	2,48	0,09	57,1
	S3	1106	7,7	20,9	1,59	0,08	38,2
	S4	1061	7,5	20,8	1,98	0,03	39,6

#### **IV.5.8- Métaux lourds**

Ce sont des polluants primaires persistant, leur durée de vie dans le sol est de 1700 ans, ils peuvent être accumulés dans les chaînes alimentaires (FORBES, 1994 ; OFFEP, 1998).

Les concentrations des métaux lourds sont représentées dans le tableau 3 des 06 stations durant la 1<sup>ère</sup> phase de prélèvement.

Le tableau 04 représente les moyennes des concentrations des métaux lourds dans les 04 stations choisies afin de suivre leur évolution durant cette 2<sup>ème</sup> phase.

##### **IV.5.8.1 - Fe**

Les valeurs variant entre 0,007 et 0,331 mg/l sont représentées dans les tableaux 18 et 19. Elles ont été au dessus du seuil qui est de 0,3mg/l (annexes 5).

Les taux élevés variant entre 0,08 et 0,332 mg/l des stations 1, 2 confirment bien leurs situations proches de la Saniak qui jette beaucoup de déchets toxiques issus de la fabrication d'accessoires industriels et sanitaires.

La station 4 qui présente des valeurs comprises 0,324 et 0,336 mg/l est aussi polluée et dépassant les normes requises de 0,3 mg/l. Cela est justifié par sa situation dans l'aire où sont stockés les rajouts à base de fer dans la fabrication du ciment (RODIER, 2005).

Durant la 2<sup>ème</sup> phase les taux de Fe des stations 1 et 2 varient entre 0,412 et 1,388 mg/l. Cela indique que nous sommes en présence d'une pollution confirmée par leurs situations proche de la Saniak comme durant la 1<sup>ère</sup> phase.

La station 4 qui a atteint un seuil de 0,922 est aussi polluée.

Nos stations 3, 5 et 6 sont dans les normes requises.

Les taux élevés des stations 1 et 2 proches de la Saniak sont justifiés par les infiltrations et le ruissèlement des eaux de surface .

##### **IV.5.8.2 - Zn**

Les résultats sont représentés dans les tableaux 18 et 19.

Durant la 1<sup>ère</sup> phase d'analyses les concentrations de Zn sont comprises entre 0,010 et 0,45 mg/l ; dans la 2<sup>ème</sup> entre 0,08 et 0,58 mg/l.

Toutes les stations étaient en dessous du seuil de 3mg/l pour les normes CEE et OMS et 5mg/l pour les normes Algériennes (annexes 5).

Donc le Zn ne constituait pas de menace de pollution pour nos stations (DAVIS 2001).

#### **IV.5.8.3- Cd**

Les données exposées dans le tableau 18 et 19 durant la 1<sup>ère</sup> phase sont comprises entre 0,001 et 0,008 mg/l. Durant la 2<sup>ème</sup> phase les concentrations de Cd varient entre 0,002 et 0,006 mg/l.

Nos résultats ont montré une pollution limite par le Cd dans nos stations si on se référait aux normes CE (0,005mg/l), OMS (0,003mg/l) et de ce fait on dira qu'il constitue relativement un danger pour la santé humaine, si on se réfère aux normes OMS et CEE et est sans danger par rapport aux normes Algériennes qui sont trop élevées (0,05mg/l) (annexes 5).

Par conséquent il serait souhaitable de réviser à la baisse les valeurs limites Algériennes.

C'est au niveau de la station 1 que les taux sont élevés (jusqu'à 0,008 mg/l) du fait de sa situation proche de la Saniak (dans la chaîne de production) et de la RN 9B (usure des pneus et du système de couplage boîte de vitesse- moteur), (ADEKUNLE ET AL, 2010).

Le cadmium assimilé passe dans le sang pour s'accumuler dans le foie et les reins qui en concentrent 30 à 40 % (BOEGLIN, 1999).

Les expositions chroniques, régulières, sur plusieurs années, à des doses de 200 à 600 µg par jour, provoquent des atteintes irréversibles des reins, une déminéralisation des os, le cadmium empêchant la fixation du calcium.

#### **IV.5.8.4 - Pb**

Les tableaux 18 et 19 exposent les valeurs du Pb qui ont sont comprises entre 0,021 et 0,105 mg/l. Les taux de Pb sont compris entre 0,021 et 0,105 mg/l dans la station 1, ces taux dépassent même les normes Algériennes qui sont de 0,05 mg/l.

Cette pollution est due aux rejets de la Saniak et la pollution atmosphérique par le parc roulant qui utilise encore l'essence plombée. La station 4 est aussi polluée atteignant 0,082 mg/l et dépassant ainsi toutes les normes universelles (annexes 5).

Ce dépassement des normes de concentration est dû à la pollution au transport des produits de la carrière au broyeur (OFFEP, 1998).

Ces valeurs indiquent que les eaux souterraines de ces stations sont polluées et dépassent les normes Algériennes dans la station 1 et 4.

L'OMS a encore révisé ses normes actuellement de 0,03mg/l qui seront revues à la baisse en 2014 atteignant 0,01 mg/l. Le Pb est un élément très toxique et cause le saturnisme, l'anémie et peut aussi engendrer des dommages au système nerveux et l'altération de la fonction rénale (DERRADJI et *al.*, 2004). Il est strictement interdit d'utiliser les eaux de la station 1 et 4 comme eau potable.

**Tableau -18** Analyse des concentrations des métaux lourds (mg/l) dans les eaux souterraines durant la 1<sup>ère</sup> phase dans les 06 stations.

Paramètres Stations Prélèvement		Fe Mg/l	Zn Mg/l	Cd Mg/l	Pb Mg/l
P1	Stat 1	0,080	0,111	0,006	0,021
	Stat 2	0,316	0,151	0,002	0,010
	Stat 3	0,039	0,212	0,005	0,011
	Stat 4	0,325	0,45	0,002	0,062
	Stat 5	0,007	0,002	0,001	0,016
	Stat 6	0,029	0,027	0,004	0,012
P2	Stat 1	0,302	0,011	0,005	0,036
	Stat 2	0,291	0,011	0,001	0,021
	Stat 3	0,128	0,011	0,001	0,013
	Stat 4	0,331	0,220	0,005	0,073
	Stat 5	0,19	0,033	0,002	0,017
	Stat 6	0,028	0,030	0,001	0,012
P3	Stat 1	0,332	0,013	0,004	0,105
	Stat 2	0,231	0,013	0,001	0,014
	Stat 3	0,137	0,011	0,004	0,010
	Stat 4	0,336	0,012	0,004	0,064
	Stat 5	0,016	0,006	0,005	0,023
	Stat 6	0,028	0,034	0,005	0,013
P4	Stat 1	0,321	0,029	0,008	0,084
	Stat 2	0,245	0,014	0,002	0,021
	Stat 3	0,112	0,012	0,003	0,011
	Stat 4	0,324	0,01	0,004	0,082
	Stat 5	0,129	0,02	0,002	0,034
	Stat 6	0,027	0,032	0,004	0,023

**Tableau -19 .** Valeurs moyennes des métaux lourds durant la 2<sup>ème</sup> phase pour les 04 stations.

Métaux lourds stations		Fe (mg/l)	Zn (mg/l)	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)
Moyennes	S1	1.388	0.08	0.002	0.07
	S2	0.412	0.09	0.002	0.03
	S3	0.032	0.33	0.005	0.02
	S4	0.922	0.58	0.006	0.05

#### IV.6- Exposition aux poussières du ciment et nouveaux nés

Les femmes enceintes des régions limitrophes de la cimenterie sont exposées continuellement aux poussières émanant de la cimenterie dont les rejets ont été évalués à 180 µg/NM3 avant l'installation du filtre à manche.

Les résultats sont représentés par les figures 27, 28,29 et 30.

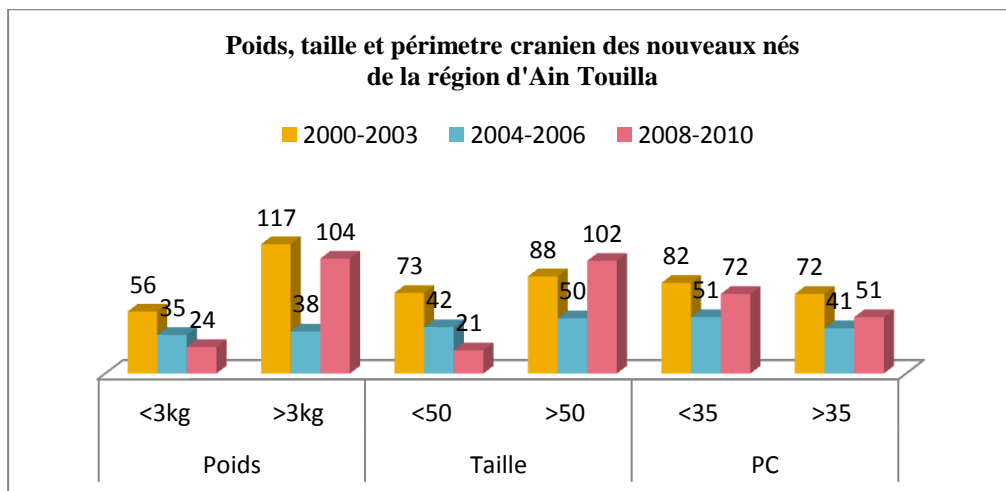
##### Station1 : Ain Touila

##### Avant l'installation du filtre à manche

- Le nombre des nouveau-nés qui ont un poids <3kg est égale à la moitié du nombre des N.N qui ont un poids>3kg
- Le nombre des nouveau-nés qui ont une taille <50cm est presque le même nombre des N.N qui ont une taille >50cm
- Le nombre des nouveau-nés qui ont un PC <35cm est presque le même nombre des N.N qui ont un PC >35cm

##### Après l'installation du filtre à manche

- Le nombre des nouveau-nés qui ont un poids <3kg est égale au quart du nombre des N.N qui ont un poids >3kg
- Le nombre des nouveau-nés qui ont une taille <50cm est inférieur au quart du nombre des N.N qui ont une taille >50cm
- Le nombre des nouveau-nés qui ont un PC <35cm est le même nombre des N.N qui ont un PC >50cm



**Figure26** : Représentation graphique du poids, taille et PC des nouveaux nés de la région d'Ain Touilla



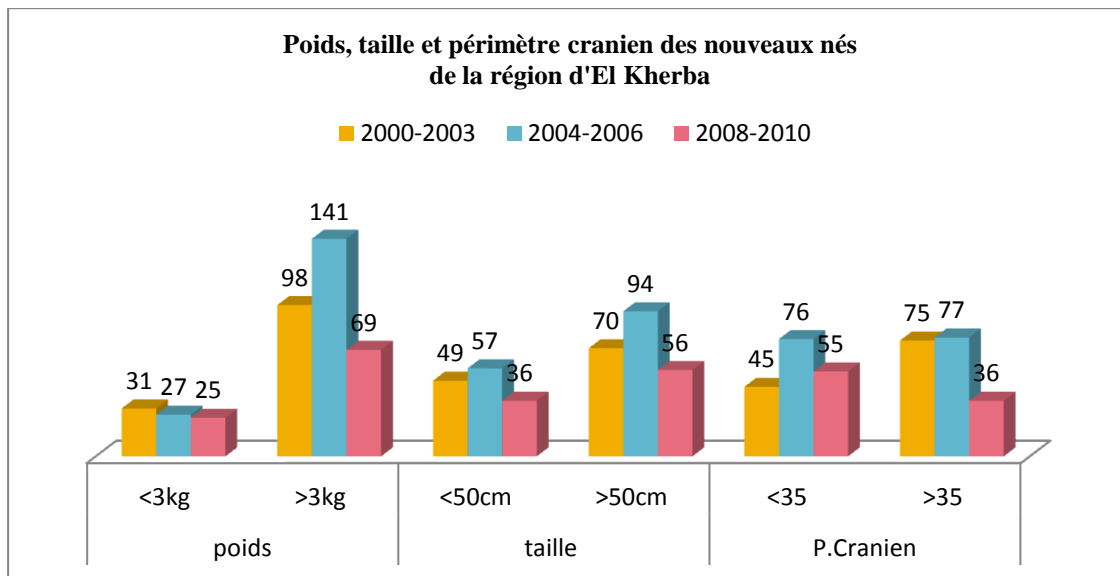
## Station 2 : El Kherba

### Avant l'installation du filtre à manche

- Le nombre des N.N qui ont un poids <3kg est égale au tiers du nombre des N.N qui ont un poids >3kg
- Le nombre des N.N qui ont une taille <50cm est égale à la moitié du nombre des N.N qui ont une taille >50cm
- Le nombre des N.N qui ont un PC <35cm est presque le même nombre des N.N qui ont un PC >35cm

### Après l'installation du filtre à manche

- Le nombre des N.N qui ont un poids <3kg est inférieur au quart du nombre des N.N qui ont un poids >3kg
- Le nombre des N.N qui ont une taille <50cm est égale presque à la moitié du nombre des N.N qui ont une taille >50cm
- Le nombre des N.N qui ont un PC <35cm est presque le même nombre des N.N qui ont un PC >35cm



**Figure 27** : Représentation graphique du poids, taille et PC des nouveaux nés de la région d'El Kherba

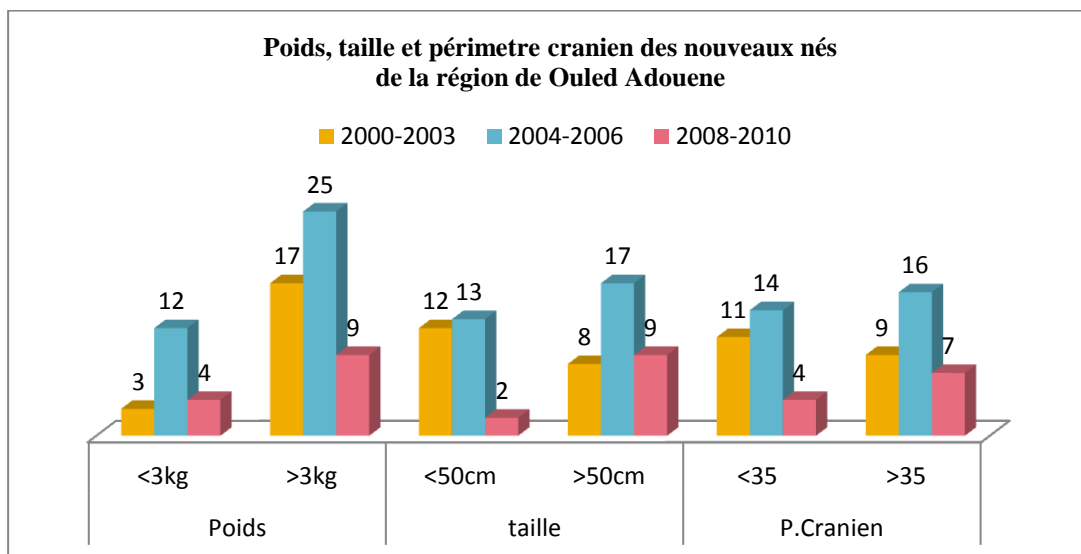
### Station 3 : Ouled Adouane

#### Avant l'installation du filtre

- Le nombre des N.N qui ont un poids <3kg est égale au quart du nombre des N.N qui ont un poids >3kg
- Le nombre des N.N qui ont une taille <50cm est presque le même nombre des N.N qui ont une taille >50cm
- Le nombre des N.N qui ont un PC <35cm est presque le même nombre des N.N qui ont un PC >35cm

#### Après l'installation du filtre à manche

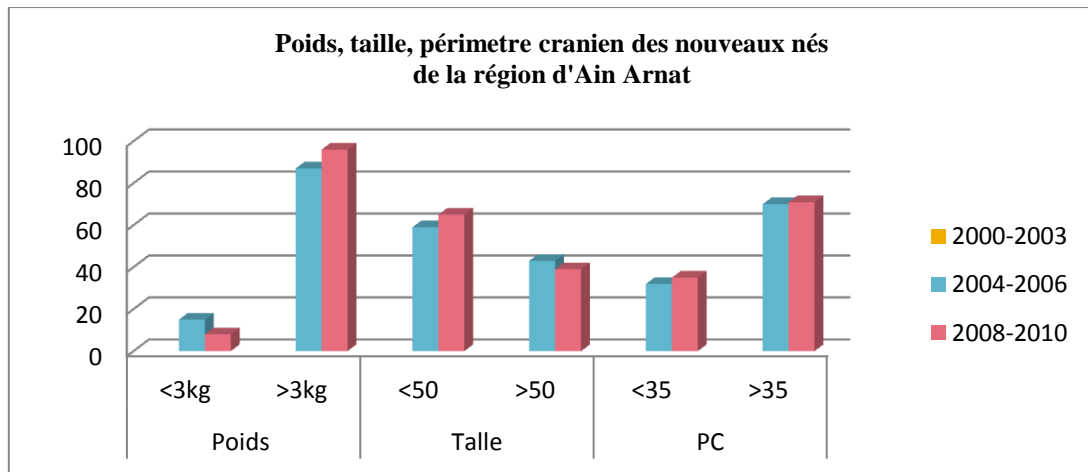
- Le nombre des N.N qui ont un poids <3kg est égale au quat du nombre des N.N qui ont un poids >3kg
- Le nombre des N.N qui ont une taille <50cm est moins d'un quart du nombre des N.N qui ont une taille >50cm
- Le nombre des N.N qui ont un PC <35cm est égale à la moitié du nombre des N.N qui ont un PC >35cm



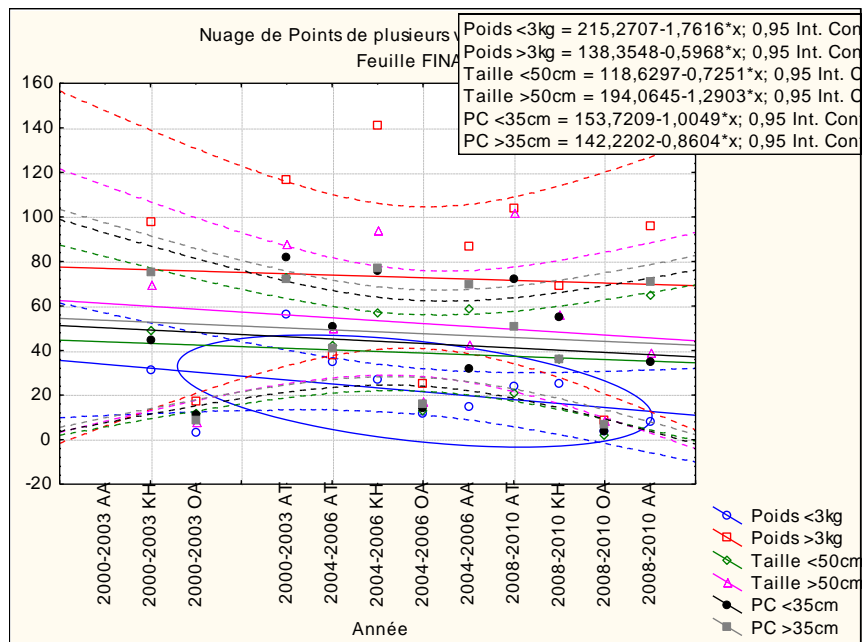
**Figure28** : Représentation graphique du poids, taille et PC des nouveaux nés de la région de Ouled Adouane

#### Station 4 : Ain Arnat (Témoïn)

- Le nombre des N.N qui ont un poids <3kg est égale au huitième du nombre des N.N qui ont un poids >3kg
- Le nombre des N.N qui ont une taille <50cm est presque le même nombre des N.N qui ont une taille >50cm
- Le nombre des N.N qui ont un PC <35cm est égale à la moitié du nombre des N.N qui ont un PC >35cm



**Figure 29** : Représentation graphique du poids, taille et PC des nouveaux nés de la région d'Ain Arnat



**Figure 30** : Représentation graphique des paramètres poids, taille et PC au niveau des différentes stations avant et après l'installation du filtre

On a comparé le nombre de nouveau-nés ayant un poids inférieur à 3Kg avant et après l'installation des filtres et en fonction de la région limitrophe à la cimenterie c'est-à-dire de la plus proche à la plus lointaine. Pour les analyses statistiques, le logiciel statistica version 6 a été utilisé.

Les paramètres concernant le poids sont significatifs au niveau de la station d'Ain Touila qui est proche de la cimenterie. Cette station représente un taux élevé par rapport aux stations d'El Kharba et Ouled Adouane et cela se confirme au niveau des figures 26, 27, 28,29 et 30.

Ce paramètre est très représentatif dans la Figure 30, car si on compare les variations du poids (<3kg) des nouveau-nés avant et après l'installation des filtres à manche soit en 2006, nous pouvons constater que cette anomalie régresse progressivement.

Cela confirme bien qu'il y a une corrélation positive et significative entre le poids des nouveau-nés et les poussières émises par la cimenterie, en concordance avec les travaux effectués par ABDUL-WAHAB en 2006.

Le facteur concernant la taille représenté sur deux axes dispose d'une corrélation positive mais non significative par contre le Périmètre crânien ne représente pas beaucoup de variations et de ce fait on constate qu'il n'a pas de corrélation entre ce paramètre et les poussières émises par la cimenterie.

Les résultats de nos travaux vont dans la même direction de ceux effectués par Tai à Kaohsiung au Taiwan en (2003) (TAI *et al*, 2003) et à Grenoble en France en (2009) (SLAMA *et al*, 2008).

Nous pouvons conclure que durant toute une décennie la cimenterie a eu un impact négatif sur la santé humaine en général et en particulier sur l'hypotrophie des nouveau-nés.

Les stations d'Ouled Adouane et surtout Ain Arnat présentent un faible taux de nouveau-nés hypotrophiés.

Cela s'explique par la position d'Ouled Adouane qui se situe hors de la direction des vents dominant qui entraînent les poussières du ciment, par contre celle d'Ain Arnat est indemne de toute pollution.

Cette approche ouvrira certainement la voie aux épidémiologistes et endocrinologues d'approfondir cette étude en mettant en évidence le dosage de la CRP et le rôle des métaux lourds et poussières du ciment comme perturbateurs endocriniens chez la femme enceinte.

**Tableau 20 : Analyse factorielle des composantes principales en fonction des corrélations observées**

Variable	Poids Factoriels(Sans rot.) (Feuille FINAL) Extraction : Compos. principales (Poids marqués >,700000)	
	Facteur 1	Facteur 2
Année	0,215895	0,916488
Poids <3kg	-0,809268	-0,393551
Poids >3kg	-0,932922	0,236107
Taille <50cm	-0,831533	0,161679
Taille >50cm	-0,915290	0,003360
PC <35cm	-0,927486	-0,029825
PC >35cm	-0,903691	0,206076
Var. Expl.	4,777960	1,120087
Prp.Tot	0,682566	0,160012

**Tableau 21 : Moyennes et écarts-types des variables poids, taille et PC**

Variable	Moyennes et Ecart-types (Feuille FINAL) Observation à VM ignorée N=11	
	Moyenne	Ec-types
Année	109,8182	3,60051
Poids <3kg	21,8182	15,72780
Poids >3kg	72,8182	44,32565
Taille <50cm	39,0000	24,02499
Taille >50cm	52,3636	33,41040
PC <35cm	43,3636	26,89339
PC >35cm	47,7273	27,54302

## CONCLUSION

Les poussières émanant de la cimenterie ont affecté l'environnement durant trois décennies et ont contaminées l'air, l'eau la flore, la faune et le sol et affectées la santé des riverains.

Nous avons constaté une réduction de 18,84% de  $\text{SiO}_2$ , 3,54% d' $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2,29% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 41,71% de  $\text{CaO}$ , 0,84% de  $\text{MgO}$  et 0,40% de  $\text{SO}_3$  dans les poussières ciment.

D'après ces résultats déduisons que les rejets de poussières dont les taux atteignaient 180  $\mu\text{g}/\text{NM}^3$  avant l'installation du système de dépoussiérage ; sont actuellement à 10 $\mu\text{g}/\text{NM}^3$  ce qui est en dessous des normes Algériennes qui sont de 30  $\mu\text{g}/\text{NM}^3$  et OMS fixées à 25  $\mu\text{g}/\text{NM}^3$ , ainsi qu'en 2013 la communauté européenne a exigé le seuil de 15  $\mu\text{g}/\text{NM}^3$  pour tous les pays de la CE.

Cela confirme bien, l'efficacité du filtre à manche qui a non seulement protégé l'environnement mais aussi a participé à l'économie verte en réduisant la consommation d'eau de 4000  $\text{m}^3$  journalière ainsi que plus de 90 tonnes de ciment.

Le reboisement d'EL Guettar a été contaminé à sa lisière par les poussières du ciment et le parc roulant de la RN 9B qui utilise encore de l'essence plombée d'où la nécessité de l'abandonner.

Les analyses physico-chimiques ont révélé un pH alcalin, au niveau de toutes les stations sauf celle de la Saniak qui a subit l'influence de ses rejets acides. Les taux de métaux lourds sont élevés au niveau de la station de la lisière du reboisement, cela est justifié par sa position proche de la cimenterie et de la RN 9B.

Actuellement ce reboisement fait l'objet d'un aménagement en forêt récréative qui est le fruit notre étude.

Le sol de cette région n'a pas aussi été épargné de ce désordre écologique qui a influé négativement sur ses caractéristiques pédologiques avec un pH alcalin d'où la réduction de la production céréalière, contamination des eaux de surfaces et de la nappe phréatique.

Nos résultats ont montré que les stations de la carrière et de la Saniak sont les plus contaminées par les métaux lourds.

On conclue après analyses physico-chimiques et métaux lourds que les eaux d'Oued Ezzatine sont polluées par la dispersion aérienne des poussières du ciment, par l'absence d'une STEP soit au niveau de la SCAEK et la Saniak.

La contamination directe des eaux d'Oued Ezzatine s'est faite par les rejets industriels de la Saniak dont la station d'épuration est vétuste, les rejets des unités de carrelage dépourvues de système de filtres à presses ainsi que les rejets des eaux domestiques résiduaire riverains.

Ces polluants vont être convoyés jusqu'à infiltration dans le sol traversant la zone non saturée sous-jacente par l'eau percolant vers les nappes profondes.

D'après nos résultats d'analyses et les paramètres de classement des eaux destinées à l'irrigation, cet oued est considéré comme inapte à tout usage et classé hors catégorie, soit pour l'irrigation ou bien l'abreuvement du cheptel et constitue une menace réelle sur la santé des riverains.

Les eaux souterraines n'ont pas été épargnées par cette pollution qui constitue une menace sanitaire pour la population qui ne dispose pas d'autres ressources hydriques.

Notre première approche épidémiologique a montré que les riverains les plus proches de la cimenterie ceux d'EL Kherba et Ain Touila sont les plus affectés.

Au terme de notre travail nous souhaiterions organiser des rencontres de tous acteurs afin de les faire participer dans la réhabilitation de la région qui a souffert depuis une trentaine d'années. Ces rencontres nous permettront d'échanger, de communiquer et de découvrir grâce à des professionnels, des chercheurs, et des usagers, les enjeux et les perspectives d'une gestion efficace, rationnelle et la mise au point sur les derniers développements dans le domaine de la gestion et la préservation des ressources naturelles et surtout hydriques.

## RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

- \*Installation de filtres à presses pour les unités de carrelage.
- \*Rénovation des stations d'épuration industrielle et domestique Saniak.
- \*Conception de filtres au niveau du broyeur des agrégats.
- \*Assurer un arrosage continu par l'installation de rampes sur les bords de la route afin de pallier au problème des émanations de poussières dues au transport carrière- Broyeur.
- \*Concevoir des réseaux assainissement citoyens.
- \*Contrôle par les services agricoles sur l'utilisation qualitative et quantitative des engrais (nitrates et nitrites élevés).
- \*Détoxification des boues stockées au niveau de la Saniak depuis 1990.
- \*Inventorier tous les sites pollués à l'échelle nationale si on veut établir une cartographie en utilisant le SIG.
- \*Dans la réhabilitation des sites pollués de la région nous avons entamé un projet de traitement des sols pollués par phytoremédiation avec les services des forêts et de la cimenterie.
- \*Des procédés chimiques, qui impliquent la destruction, la fixation, la mobilisation des polluants sous l'effet de réactions chimiques (oxydoréduction, chélation, réactions de surface; comme au niveau des boues stockées au sein de la Saniak.
- \*Des procédés thermiques (la température), consistent en une désorption des polluants surtout solides comme les boues stockées au niveau de la Saniak, ou en une destruction par incinération prochainement au niveau du CET de Sétif.



## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDUL-WAHAB, A S. 2006. Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities. *Ecological modelling*. **195** (3-4): 338-348.
- ABRAHAMS, P W., 2002. Soils: their implications to human health. *The Science of the Total Environment* **291**, p 32.
- ACEE (Association canadienne des eaux embouteillées). 2006. Comment les dépôts acides modifient-ils la qualité de l'eau : 12 Octobre 2006, p 96.
- ADDOU, A ., BELHADJ, M ., et GHEZZAR, M R . 2002. Etude de la pollution minérale et organique des eaux et sédiments de Oued Chellif (Algérie).Proceedings of international symposium of environmental pollution control and waste management.7-10 january 2002, Tunis(EPCOWM 2002), p 2.
- ADEKUNLE, IM., BANGBOSEn O., ADETUNJI, MT., and LANRE- IYANDA, YA. 2010. Impact of unremediated solid waste dumpsite converted to farmland on plant cadmium phytoaccumulation and toxicity, *Journal of applied sciences in Environmental Sanitation*, V (N): 226-238.
- AFED. 2001. Forum arabe de l'environnement et du développement. Beyrouth 4&5 Novembre 2011, p12.
- AGORAMOORTHY, G., CHEN F A., VENKATESHWARULU, V., and SHEA, PC. 2009. Bioremediation of heavy metals in selected medicinal plants of India, *Journal of Environment*. **30**: 175-178.
- AL AJEELI, AT. 2012. 6ème Forum Mondial de l'Eau .Marseille du 12 au 17 mars. France p4.
- ALTUG, G., AND BALKIS, N. 2009. Levels of some toxic elements and frequency of bacterial heavy metal resistance in sediment and sea water, *Environmental Monitoring Assessment*, **149**: 61-69.
- AMBROISE, F., 2000. Les pollutions atmosphériques et leur effets sur la santé, conférence au crdp de Nancy (France) :10 mai 2000 p 11.
- AMITA, D.A., VERMA, S., TARE, V. AND BOSE, D. 2005. In: oxidation of chromium(III) in tannery sludge for chromium(IV): Field observations and theoretical assessment, *Journal of Hazardous matter*, **121**: 215-222.
- ANGELOVA, V., and IVANOV, K .2008. Bioaccumulation and distribution of heavy metals in black mustard Brassica nigra (Koch), *Environmental Monitoring Assessment*, **28**: 531 – 538.

- ANURADHA, A . 2005. Adsorption of copper in sewage irrigated soils, *Journal of Ecotoxicology and Environmental Monitoring*, **15** (4): 341-345.
- ARDUINI, D., GODBOLD, L., and ONNIS, A. 1994. Cadmium and copper change rootgrowth and morphology of *Pinus pinea* and *Pinus pinaster* seedling, *Physiologia plantarum* **92** 675-680.
- ARQUES, P. 1998. La pollution de l'air, Causes, Conséquences, Solutions. Ed. EDISUD : Paris : p.27.
- AWQC (ALGERIA WATER QUALITY COUNTRY). 2001. «Rapport sur la gestion de l'eau et des interventions possibles du METAP» .Novembre 2001 Algeria p 75.
- AZUMI, D S., and BICHI, M H .2010. Industrial pollution and heavy metals profile of Challawa River in Kano, *Nigeria, Journal of Applied Sciences in Environmental sanitation*, **5**(1): 23-29.
- BAIZE D ., et JABIOL B. 2012. *Guide pour la description des sols* .Ed Quea Paris . pp 430.
- BELAY, A.A. 2010. Impacts of chromium from tannery effluent and evaluation of alternative treatment options, *Journal of Environmental Protection* **1**: 53-58.
- BERAT, C. 2002. Etude de l'atmosphère terrestre : Réunion Euso-France p 4-7, 8 Février 2002.
- BIRKEFELD, A., SCHULIN, R., and NOWACK, B. 2007. In situ transformations of fine lead oxide particles in different soils. *Environment pollution*. **145** (2) : 554-561
- BLIEFERT C., et PERAUD, R. 2001. *Chimie de l'environnement, air, eau, sol, déchets*. Ed. Deboeck : p 27.
- BOEGLIN, J. 1999. *Déchets et risques pour la santé*, Ed, collection technique de l'ingénieur G 1210, paris, p2.
- BOUDECHICHE, N., et LEGROS, D. 2005. Etude de l'effet du type de questionnement (micro macro), Oran, Algérie, 1 et 2 Juillet 2005 p2.
- BOUHARATI, S., BOUNECHADA, M., DJIRAR, N., TEDJAR, L., et ALLEG, F .2011. Réutilisation des eaux usées dans le système d'épuration : Modélisation par les réseaux de neurones artificiels. *Agriculture UFAS Sétif Algérie*. N°2 : 102-107
- BOUMEGOURA, N., et HABBAS, B. 2003. Evaluation des retombées atmosphériques et leur modélisation autour de la cimenterie de Hamma Bouziane., Mémoire d'ingénieur en Ecologie. Université Mentouri, Constantine : p.4-7,

- BOUNECHADA, M., DJIRAR, N., BENKHELIL, M.L., TEDJAR, L., et FENNI, M .2011. Biodiversity and Ecological Distribution of Beetles (Coleoptera, Chrysomelidae) in Park National of Babors (North-East of Algeria). Bulletin UASVM Agriculture, **68**(1) 396-398.
- BRIGITTE, G., CHAUVIN, CH., et FRANÇOISE, M . 2003. Cours d'eau. pollution- méthodes- IBGN et indices biologiques. 2eme édition. Educagri éditions. pp 25- 26- 37- 39- 40-41.
- CHAFFAI, H., LAOUAR, R., DJABRI, L., et HANI, A . 2006: Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe alluviale de Skikda. p9.
- CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique). 2012. Pollution atmosphérique en bref. p 4.
- COLLIN, JJ. 2004. Les eaux souterraines. Bbrgm édition. Hermann éditeurs de Sciences et des Arts France. pp : 31-37- 91-149-151.
- CORPUS. 2002. Encyclopedia Universalis ,18 ème TOME PARIS, P 460
- DAGET, P. 1977. Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux et mode de caractérisation. *Plant Ecology* : **34**, N° 1 , 1-20
- DANIELPOL, D., GRIEBLE, RC., GUNATILAKA, A., and NOTENBOOM, J. 2003. Present state and future prospect for groundwater ecosystems. *Environnemental Conservation*. **30** (2): 27p.
- DAVIS, A P., SHOKOUHIAN, M., NI, S B. 2001. Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere*. **44**: 997–1009.
- DEEPALI, K.K., and GANGWAR, K. 2010. Metals concentration in Textile and Tannery Effluents, associated soils and ground water, *New York Science Journal*, 3(4): 82-89.
- DEMIRAK, A ., YILMAZ, F ., LEVENT-TUNA A., and OZDEMIR, N. 2006. Heavy metals in water sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. **63** (9): 1451-1458.
- DERRADJI, F., KHERICI, N., ROMEO, M., et CARUBA, R. 2004. Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-est algérien). *Sécheresse*. **4**(15) :1-8
- DEWS (Direction de l'environnement de la wilaya de Sétif). 1999. Etude du schéma directeur de la gestion des déchets solides urbains de la ville de Sétif .Spa Eau et Environnement Alger. Algérie. 121p.
- DHWS (Direction de l'hydraulique de la wilaya de Sétif).2009. Rapport situation de l'eau dans la wilaya de Sétif. 125p

- DOROSZCZUK B. 2003. L'environnement industriel en région centre, Ed drire center 16 p.
- DPAT .2010. Rapport socio-économique région Ain EL Kebira. DPAT Sétif 2010.
- DRASTIC. 2006 .Bulletin du service géologique national. **17**, N 1 : 63-74
- DUCHAUFOR, P. 2001. *Introduction à la science du sol: Sol, végétation, environnement*. Dunod, Paris, 331p.
- DVICO, M. 2005. Les impacts environnementaux et socio-économiques de la cimenterie de la Sococim sur un quartier irrégulier : Gouye-Mourid à Refusque, Université Joseph Fourier : Août 2005.
- EMILIAN, K. 2004. *Traitement des pollutions industrielles : Eau, Air, Déchets, Sols et Boues*. Ed Dunod Paris 2004, 424p.
- FERFER, A. 2003. *Etude des retombées atmosphériques autour de la cimenterie de Hamma Bouziane*, Mémoire d'ingénieur, Ecologie. Université Mentouri, Constantine : p.25-26-38-39,
- FONTAN, J. 2003. *Les pollutions de l'air*. Les connaître pour les combattre. Ed. Vuibert, paris : pp. 4-30.
- FORBES, V., et FORBES, L. 1994. *Éco toxicologie, théorie et application*, INRA édition, 1994, p25
- FOURMEAUX, A., et RESCAR. 2004. Rapport sur les réseaux de mesure de la qualité de l'air en région Wallonne, Institut scientifique des services publics (ISSEP) p15.
- FRENKEN, K. 2005. Rapport FAO sur l'eau. L'irrigation en Afrique en chiffre. Enquête aquastat. 652p.
- GARREC, J-P., SHANG, H., ROSE, C., et RADANAI, F. 2002. La pollution atmosphérique sur Pékin, impact potentiel sur l'agriculture périurbaine, INRA, laboratoire de pollution atmosphérique, *le courrier de l'environnement* N° 46 : juin 2002, pp78-83.
- GENIN, B., CHAUVIN, C., et MENARD, F. 2003 .*Cours d'eau et indices biologiques 2ème édition*. Educagri éditions, Dijon, 2003. p36.
- GIRARD, MC., WALTER, CH., REMY, JC., BERTHELIN, J., et MOREL, JL. 2005. *Sols et environnement* .Edition Dunod paris. 816 p.
- GOMBERT, S., GALSOMIES, L., et RAUSCH, C .2005. Pollution atmosphérique par les métaux, bio surveillance des retombées. Edp/sciences. 108p

- GOURDEAU, J. 2004. Particules et climat, France : 21Avril 2004 p 28.
- GRIFFITHS, H. 2003. Effets de la pollution atmosphérique sur la culture agricoles, Fiche technique : Juin 2003 p2.
- GUPTA, S., SATPATI, S., NAYEK, S., and GARAI, D. 2010. Effect of waste water irrigation of vegetables in relation to bioaccumulation of heavy metals and biochemical changes, *Environmental Monitoring Assessment*, **165**: 169-177.
- HAZOURLI, S., BOUDIBA, L., et ZIATI, M. 2007. Caractérisation de la pollution des eaux résiduaires de la zone industrielle d'El-hadjar, Annaba. *Larhys Journal*, n° **06**: 45-55
- HERTIG, J. 2006. Etudes d'impact sur l'environnement, 2emeédition (2006), Presse Poly Techniques et universitaires Romandes pp 280, 281,283.
- ISWE (International Symposium on Water and Earth). 2008. Annaba - 17, 18 and November 19, 2008 - Algeria. pp 374-383.
- JELASKA, LS., BLANUSA, M., DURBESIC, P., and JELASKA, SD. 2007. Heavy metal concentrations in groudns beetles, leaf litter, and soil of a forest ecosystem . *Ecotoxicology and environmental safety*. **66**(1) 74-81.
- JEROME, C. 1999.Thèse pour l'obtention de doctorat : Analyse et modélisation du système biologique. Lyon, ([http:// bibliothèques.lill.l.fr / grisemine](http://bibliothèques.lill.l.fr/grisemine)) page:239.
- JORADP (Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire). 2006. N° **6** p.14 -16 avril 2006.
- KAREN, B D., VALDECANTOS, A., and JORDI, C. 2007, Response of *Pinus halepensis* Mill. Seedling to biosolids enriched with Cu, Ni and Zn in three Mediterranean forest soils, *Environmental pollution* .**145** : 316-323.
- KHALIFA, K. ENVIRONNEMENT. 1999. Ed.Technique de L'ingénieur, Paris : 1999 pp 37.
- KHELFAOUI, H., HANI, A., et CHAFFAI, H. 2008. Study of the pollution of waters in heavy metals and their impact on the environment, case of the region of Berrahal (Annaba, Algérie). International Symposium on Water and Earth. "Annaba - 17, 18 and November 19, 2008 - Algeria. p 374-383
- KOLLER, E, 2004. *Traitement des pollutions industrielles. Eau, air, déchets, sols, boues* dunod paris, 424p.
- KUKOLA, E., RAUTIO, P., and HUTTUNEN, S. 2000. Stress indicators in copper-and nickel-exposed Scots pine seedlings, *Environmental and Experimental Botany* **43**: 197-210.

- LENNTECH . 2004. Traitement de l'eau et de l'air. Ed Herman, Paris p120.
- MAGDELAINE, C. 2006. Revue trimestrielle, pollution atmosphérique : p19.
- MELANBY, K., et VINCENT, F. 1976. *Biologie de la pollution*. Ed. Vuibert, Paris : p.12.
- METICHE, M. 2004. Environnement: Phénomène de pollution et technique de protection, centre universitaire de Béchar : Octobre 2004. 54p
- MSC (Maghreb Safety Conseil). 2007. Étude d'impact, SCAEK-filiale ERCE Groupe g\c 2007 : p.29
- MUDASSAR, I ., DURANI, I ., BIBI, H ., and NAZ, R . 2006. Pollution load in industrial effluent and groundwater of Amazai Industrial Estate( Gaie) Swabi, NWFP. *Journal of agricultural and Biological science*. Vol 1 N°3 :18-24.
- MUTIN, G. 2000. *L'eau dans le monde arabe, enjeux et conflits*. Ellipses, 155 p.
- M'ZOUGHEM, K., et CHENAFI, W. 2006. Etude géotechnique de la stabilité des talus dans la carrière de Ain El Kebira (Sétif). Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Géologie. UFAS Sétif .68p.
- NAAZ, S., and PANDEY, S N. 2010. Effects of industrial wastewater on heavy metal accumulation growth and biochemical responses of lettuce (*Lactuca sativa*). *Journal of Environmental Biology*, **31**: 273-276.
- NAZIF, W., PERVEEN, S., and ASIF, S. 2006. Evaluation of irrigation water for heavy metals of Akbarpura Area. *Journal of agricultural and Biological science*. Vol 1 N°1 : 51-54.
- NOUAR, T., TOUMI, A., et MESSADI, D. 2006. Etude de la pollution superficielle du bassin de Guelma Algérie. *Journal de l'eau et de l'environnement*. Bulletin scientifique semestriel. P 32-41.
- OFEFP (Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage) .1998. *Élimination des déchets dans les cimenteries* : p.10-12-27.
- OLIVIER, A. 2005. *Chimie et pollutions des eaux souterraines*. Edition Tec et Doc. Londres-Paris- New York. pp: 398
- ORSZAGH, J.2003. La toilette sèche : une question de cohérence, Goutte à goutte, *bulletin d'information du conseil de gestion du bassin versant de la Yamaska* : Décembre 2003.p 1- 7

- PANSU, M., GAUTHEYROU, J., et LOYER, J.Y. 1998. *L'analyse du sol : échantillonnage, instrumentation et contrôle*. Ed Masson Paris. 497 p.
- PERENNES, JJ. 1993. *L'eau et les hommes au Maghreb, contribution à une politique de l'eau en Méditerranée*. Karthala ED, Paris, 646 p.
- PERVEEN, S., NAZIF, W ., and SHAH, RH . 2006. Evaluation of irrigation water quality of upper gravity canal for irrigation with respect to heavy metals. *Journal of agricultural and Biological science*. **Vol 1** N°2: 19-24.
- PESSON, M. 1980. La pollution des eaux continentales, incidence sur la biocénose aquatique. Ed Gautier Vélars Paris pp : 105-111.
- PICHARD, A. 2003. *Plomb et ses dérivés, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques*. Version N°2, p 11-15-17.
- PICHARD, A. 2005. *Zinc et ses dérivés, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques*. Version N°2, p 9-12.
- POPESCU, M., BLANCHARD, J.M. et CARRE, J. 1998. Analyse et traitement physico-chimique des rejets atmosphériques industriels. Ed. Lavoisier TEC/DOC , Paris : pp 672.
- RAMADE, F. 1979. *Eco toxicologie*. Ed.Masson, Paris : p.159-160.
- RAMADE, F. 1982. *Eléments d'écologie, écologie appliquée, action de l'homme sur la biosphère* Ed. McGraw-Hill, Paris : p.70,
- RAMADE, F. 1998. *Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau*, éd. Edi science international, 471p.
- RAMADE, F. 2000. *Dictionnaire encyclopédique des pollutions*. Ed. EDISCIENCE international, Paris : pp.581,
- RAMADE, F. 2002. *Encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement*. - (Edition : DUNOD - Septembre 2002- 1ere édition 1993).pp520.
- RAMADE, F. 2005. *Elément d'écologie écologie appliquée*, 6<sup>ème</sup> édition ,Dunod, Paris p62.
- RAMADE, F. 2007. *Introduction a l'écologie*, édition la voisier, paris p20
- REMINI, B. 2007. *La problématique de l'eau en Algérie*, OPU, Alger, 162 p.
- RODIER, J. 2005. *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires eau de mer*. 8<sup>ème</sup>Ed DUNOD Paris. pp : 1383.

ROONEY CP ., ZHAO FJ., and MC-GRAZTH SP. 2007. Phytotoxicity of Nickel in range of European soils : Influence of soil properties , Ni solubilty and speciation. *Environmental pollution*. **145**(2) : 596-605.

ROUABHIA, A., RAABI, F., KHERICI, N., et DJABRI, L. 2004: Pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie). *Sécheresse* .N°4. Vol. **15** : 347-352.

SCAEK (Société des ciments d'Ain-El-kebira, filiale du groupe ERCE).2006. Ed. Illustrisarts, sétif : p.1-13, 2006.

SHARMA, KR., and AGRAWAL, M. 2005. Biological effects of heavy metals: An overview *Journal of Environmental Biology*, **26**: 301 – 313.

SHUHAIMI-OTHMAN M., and PASCOE, D. 2007. Bioconcentration and depuration of copper, cadmium , and zinc mixtures by freshwater amphopod *Hyalella azteca*. *Ecotoxicology and environmental safety*. **66**(1) : 29-35.

SLAMA, R.; DARROW, L.; PARKER, J.; and WOODRUFF, T J. 2008. Meeting Report: Atmospheric Pollution and Human Reproduction. *Environ Health Perspectv*.**116** (6).791-798.

TALLIS, M. 2011. Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments', *Landscape and Urban Planning* (sous presse). DOI: **10.1016/j.landurbplan.2011**.

TEDJAR L, 2003. Thèse pour l'obtention de magister : Bio écologie de la processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa Schiff*) du pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*) dans les hautes plaines Sétifiennes. UFAS Sétif Algérie. 116p.

TEDJAR, L., KAABECHE, M., DJIRAR, N., BOUNECHADA, M., and BOUHARATHI S. 2011. Assessment of the Physico Chemical Characteristics and Heavy Metals Level Groundwater at Setif High plains (Algeria).*Research Journal of Biological Sciences*. **6**(9) 475-479.

TEDJAR, L., KAABECHE, M., DJIRAR, N., BOUNECHADA, M., and BOUHARATHI, S. 2012. Assessment of heavy metal pollution from the Industrial dust on the reforestation of pine (*pinus halipensis Mill*) in the tell setif (North - east, Algeria). *ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science*. **7** (4) 273-278.

TREMEL-SCHAUB, A., et FEIX, I. 2005. *Contamination des sols. Transferts des sols vers les plantes*. EDP Sciences/ADEM. Angers France. pp : 413.



TSAI, S., YU, H., LIU, C., and YANG, C Y. 2003. Increased incidence of preterm delivery in mothers residing in an industrialized area in Taiwan. *Journal of toxicology and environmental health* **Vol 66**. N° 11 pp 987-994.

UNDP(Human development report united nation development program).1998. New York. p172.

UNICUMA 2000. Prévention de la pollution de l'air. Ed. pyclivre, paris : p.14-15, 2000.

WHO (World Health Organization). 1997. Health and Environment in sustainable development .Five years after the Earth summit, 242 p, Genève.1997

WHO (World Health Organization). 2005. Environmental Health Criteria, Geneva. p22.

YRA, A. 2006. Dispersion active en milieux poreux hétérogènes contaminés par des produits hydrocarbonés. Thèse présentée pour obtenir le grade de Docteur. Université Bordeaux 1 ; France 124p.

ZEROURQUI, Z., SBAA, M., OUJIDI, EK., et BENGAMRA, S. 2005. Etude des rejets atmosphériques de l'industrie cimentière de l'orientale et de leur impact sur la couche superficielle du sol, 3<sup>eme</sup> journées internationales des géosciences de l'environnement, el-jadida (maroc) : 8,9 et 10 juin 2005.

ZOHOUN, T., FAYOM, EB., et TCHOKKI, F. 1993. Poussières de ciment et pollution d'eau de puits à propos d'une étude réalisée dans des localités proches d'une cimenterie à Cotonou - République du Bénin. *Médecine d'Afrique Noire*. **40** (3) pp :4.

Sites internet :

<http://www.bcr.dz>

## ANNEXES

### Annexes 1 : Normes OMS concernant les végétaux

pH	6.5 à 7.2
Fer mg/l	1,5
Plomb mg/l	1
Cuivre mg/l	1
Zinc mg/l	5

### Annexe 2 : Normes CE OMS et Algériennes sur la pollution du sol 2006

Les paramètres	Normes CEE	Normes OMS	Normes Algériennes
Températures C°	20 - 25	22 - 25	ND
pH	06.5 -07.20	06.5 -07.20	ND
Cd (ppm)	1,5	3	8
Cr (ppm)	100	100	200
Cu (ppm)	100	100	100
Hg (ppm)	1.5	0.5	ND
Ni (ppm)	50	50	100
Pb (ppm)	100	50	200
Zn (ppm)	200	150	400

### Annexes 3 : Les métaux lourds dans le sol (VR, VS et VI)

Type d'usage		Sol (mg/kg matière sèche)				
		I naturel	II agricole	III résidentiel	IV récréatif ou commercial	V industriel
cadmium	VR	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	VS	1	1	3	10	15
	VI	10	10	30	40	50
chrome VI (2)	VR	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	VS	4	4	4	13	13
	VI	40	40	40	130	130
nickel	VR	24	24	24	24	24
	VS	60	65	150	150	210
	VI	100	200	300	300	500
plomb	VR	25	25	25	25	25
	VS	120	200	200	280	385
	VI	170	400	700	700	1360
zinc	VR	67	67	67	67	67
	VS	120	155	230	230	320
	VI	215	300	710	710	1300
Cu	VR	14	14	14	14	14
	VS	40	50	110	110	120
	VI	80	145	290	290	500

**Annexe 4** Classification internationales d'Oued Ezzatine selon les normes de la grille standard multi-usage d'appréciation globale de la qualité des eaux (d'après Agence française de l'eau) (Ramade, 1998).

	1A	1B	2	3
Conductivité à 20°C (µS/cm)	≤ 400	400 à 750	750 à 1500	1500 à 3000
Température (°C)	<20	20 à 22	22 à 25	25 à 30
pH	6.5 à 8.5			
MES (mg/L)	≤ 30	≤ 30	≤ 30	30 à 70
O2 dissous (mg/L)	>7	5 à 7	3 à 5	
O2 dissous en pourcentage de saturation	>90%	70 à 90	50 à 70	
DBO5 (mg/L)	≤ 3	3 à 5	5 à 10	10 à 25
DCO (mg/L)	≤ 20	20 à 25	25 à 40	40 à 80
NH4 (mg/L)	≤ 0.1	0.1 à 0.5	0.5 à 2	2 à 8
NO3 (mg/L)			<44	44 à 100
N total	≤ 1	1 à 2	2 à 3	
Fe (mg/L)	≤ 0.5	0.5 à 1	1 à 1.5	
Mn (mg/L)	≤ 0.1	0.1 à 0.25	0.25 à 0.50	
F (mg/L)	≤ 0.7	0.7 à 1.7	0.7 à 1.7	>1.7
Cu (mg/L)	≤ 0.02	0.02 à 0.05	0.05 à 1	>1
Zn (mg/L)	≤ 0.5	0.5 à 1	1 à 5	>5
Cd (mg/L)	≤ 0.001	≤ 0.001	≤ 0.001	>0.001
Cr (mg/L)	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	>0.05
CN (mg/L)	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	>0.05
Pb (mg/L)	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	>0.05
Hg (mg/L)	≤ 0.0005	≤ 0.0005	≤ 0.0005	>0.0005

#### Annexe 5 : Les normes OMS, CEE et Algériennes des eaux souterraines

Paramètres physico-chimiques	Normes CEE	Normes OMS	Normes Algériennes
Dureté (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	25	20	50
Conductivité µS/cm	250- 1000	250 -1000	400-1000
pH	6,5-9	6,5-9,5	6,5-8,5
Turbidité(NTU)	<5	<5	<5
Nitrites (mg/l)	0,1	0,02	0,1
Nitrates (mg/l)	50	50	50
Chlorures (mg/l)	200	250	500
Fe (mg/l)	0,2	0,3	0,3
Zn (mg/l)	3	3	5
Cd (mg/l)	0,005	0,003	0,05
Pb (mg/l)	0,02	0,02	0,05

**Tab1 .** Teneur en métaux lourds des différents types de poussières recueillies au niveau de la chaîne de production

	Poussières carrière	Poussières crue	Poussières Clinker	Poussières Ciment
Fe	32,05	57,47	65,24	82,19
Zn	1,63	3,48	7,28	5,04
Pb	1,50	2,14	4,15	3,73
Cu	0,14	0,16	0,24	0,25
Cd	0,08	0,09	0,15	0,14

**Tab 2.** Analyses des échantillons des poussières après l'installation du filtre

Eléments	Cru	Clinker	Sortie du filtre
SiO <sub>2</sub> %	14,67	22,33	18,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	3,20	3,96	3,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	2,88	3,99	2,29
CaO%	42,54	66,43	41,71
MgO%	0,58	1,25	0,84
SO <sub>3</sub> %	0,46	0,42	0,40

**Tableau 3:** Diamètre moyen en microns des particules de poussières recueillies au niveau des jauges des différentes stations

Stations	A	B	C	D	E
Diamètres en microns	11	5	7	6	9

**Tableau 4 :** Le pH du sol

stations prélèvements	Ras Eroumia	Azlet El Bel	Lisière du reboisement	Cimenterie	BCR
P1	6.9	7.4	7.5	8.5	7.6
P2	7.1	7.5	7.5	8.7	7.5
P3	7.2	7.3	7.2	8.8	7.9
P4	7.1	7.5	7.4	8.3	7.6

**Tableau 5:** La conductivité électrique et salinité du sol

stations prélèvements		Ras Eroumia	Azlet El BEL	Lisière du reboisement	cimenterie	BCR
P1	Conductivité µs/cm	108	170	222	469	211
	Salinité ppm	70	82	100	330	210
P2	conductivité	113	168	217	487	219
	salinité	79	88	109	367	221
P3	conductivité	121	179	227	492	229
	salinité	77	87	113	359	224
P4	conductivité	143	175	238	502	271
	salinité	80	87	111	352	217

**Nous avons aussi effectué des analyses d'autres métaux lourds dans le sol au niveau de 5 stations en 2010 :**

**Tab 6 : Caractères physicochimiques et métaux lourds dans le sol**

Stations	Cr (mg/l)	Cu (mg/l)	Fe (mg/l)	Ni (mg/l)	Zn (mg/l)
S1	03.5	07.0	0.15	00.1	02.0
S2	01.0	06.5	03.0	03.6	05.0
S3	13.0	17.0	16.0	06.4	07.0
S4	00.5	10.0	01.5	01.7	04.0
S5	14.0	72.0	70.0	25.4	04.0

## ملخص

إن منطقة عين الكبيرة تتميز بتضاريس وعرة يغلب عليها غطاء نباتي أهم أشجاره الصنوبر الحلبي، و مناخ شبه رطب كان قديما مساعدا للتحضيرات الجسدية لمختلف الفرق الرياضية. لكن منذ حوالي ثلاثين عاما، بعد ظهور المنشآت الصناعية كمركب الاسمنت و Saniak و حديثا وحدتين لصنع البلاط، ما فتئت الحالة البيئية و الصحية تتدهور و في هذا السياق ، وجدنا انه من الضروري إجراء دراسة لأول مرة في المنطقة حول مدى تأثير غبار الاسمنت ، و ما تطرحه المصانع الأخرى على البيئة بمنطقة عين الكبيرة التي تحاذي الحظيرة الوطنية لبا بور والتي تصنف كمحمية طبيعية .

من أجل هذا استعملنا معيار *jauge Owen* لجمع غبار الاسمنت و تحليله بشعاع الليزر من أجل تحديد الخصائص القرانيلومترية والمعادن الثقيلة بواسطة SAA قبل و بعد تجهيز مصنع الاسمنت بمصفاة الغبار.

من هنا كان الاستنتاج بأن تركيب هذا الغبار من  $SiO_2$  تغير من 25,24 % إلى 18,84 % قبل و بعد تركيب المصفاة , أما  $CaO$  فتغير من 61, 61 إلى 41,71%.

و قد بينت نتائج التحاليل المجراة على العناصر الفيزيوكيميائية والمعادن الثقيلة في الصنوبر الحلبي، (*Pinus halepensis Mill*) غابة القطار و بأن حواشي أو أطراف هذه الأخيرة هي الأكثر عرضة للتلوث بالرصاص بنسبة 1,2 إلى 1,61 مغ/ل بالنحاس بنسبة 1,11 إلى 2,59 مغ/ل بالزنك. كما أن السطح أيضا تعرض للتلوث بغبار الاسمنت مما جعل pH حمضي. و كذلك بالمعادن الثقيلة مثل الرصاص ppm 482 و الكاديوم Cd 8 ppm

وهذا ما يفوق بكثير المعدلات المقبولة بالمحطات 1 و 5.

كما أن مياه وادي الزاتين تأتي في ترتيب المياه الأكثر تلوثا .

مما يجعلها ممنوعة منعا باتا لاستعمالها في السقي أو إرواء المواشي كما أن المياه الجوفية أيضا لم تسلم من هذا التلوث خاصة المحطة 1 و 4.

أخيرا كان بإمكاننا تأسيس دراسة وبائية تقريبية نقارن من خلالها معدلات {الوزن، القامة و محيط الرأس} للمواليد الجدد في الوسط و تأثيرها بالتلوث الصناعي.

## RÉSUMÉ

La région d'Ain EL Kebira est caractérisée par un relief accidenté, dominé par des reboisements en particulier de pin d'Alep (*Pinus halepensis*. Mill), un climat subhumide favorable jadis pour la préparation physique des équipes sportives. Néanmoins depuis une trentaine d'années après la mise en service des unités industrielles ; la cimenterie, la Saniak et récemment deux unités de fabrication du carrelage, la situation environnementale et sanitaire n'a cessé de se dégrader.

C'est dans ce contexte que nous avons juger utile d'étudier pour la première fois l'impact des rejets de poussières du ciment et ceux de la Saniak sur l'environnement de la région d'Ain EL Kebira qui est limitrophe au parc national des Babors, classé réserve naturelle.

Pour ce faire nous avons utilisé des jauges Owen pour récolter les poussières du ciment, les analyser au rayon laser et à la SAA afin de déterminer leurs caractéristiques granulométriques et les métaux lourds avant et après l'installation du filtre à manche.

De cela, il ressort que la composition de ces poussières en SiO<sub>2</sub> variait entre 25, 24 et 18,84 % avant et après l'installation du filtre et celle du CaO variait entre 61,61 et 41, 71 %.

Les analyses des paramètres physico-chimiques et métaux lourds dans le pin d'Alep (*Pinus halepensis*. Mill) au niveau du reboisement d'EL Guettar ont révélé que la station de la lisière du reboisement est la plus affectée par une pollution au Pb variant de 1,2 à 1,61 mg/l ; au Cu entre 1,11 à 2,59 mg/l et au Zn allant jusqu'à 6,47 mg/l.

Les sols sont contaminés par les poussières du ciment qui ont rendu le pH alcalin(8,8) ; ainsi que les métaux lourds tel que le Cd (8ppm) et le Pb (482) dépassant largement les normes admises au niveau des stations 1 et 5.

Les eaux d'Oued Ezzatine sont classées dans la grille standard multi-usage en niveau 3 comme étant des eaux très polluées et de ce fait il est strictement interdit de les utiliser pour l'irrigation et l'abreuvement du cheptel ovin et bovin.

Les eaux souterraines n'ont pas échappé à cette pollution particulièrement les stations 1 et 4.

Enfin nous avons pu établir une approche épidémiologique sur la relation entre les paramètres (poids, taille et PC) inhérents aux nouveaux-nés et pollution industrielle.

## ABSTRACT

The area of Ain El Kebira is characterized by rugged terrain, dominated in particular by Aleppo pine (*Pinus halepensis*. Mill) reforestation, a sub humid climate favorable ource for the physical preparation of sports teams. For thirty years and after the commissioning of industrial plants, cement, Saniak and two manufacturing tiles, the environmental situation and health conditions has been steadily deteriorated.

For this context; we found it useful to study and for the first time the impact of cement dust emissions and those of Saniak on the environment of Ain EL Kebira which borders the nature reserve of the Babors.

For doing the process we has used gauges Owen to collect dust from the cement; analyzed them by laser beam and the SAA. To determine their granulometrics characteristics and heavy metals before and after the installation of the filter.

From this, appears that the composition of SiO<sub>2</sub> dust ranged from 25, 24 and 18.84% before and after installing the filter and that of CaO ranged between 61.61 and 41, 71%. Analyses of physicochemical parameters and heavy metals in the Aleppo pine (*Pinus halepensis*. Mill) at the reforestation of EL Guettar revealed that the station from the edge of reforestation is most affected by Pb pollution ranging 1.2 to 1.61 mg / l; Cu between 1.11 to 2.59 mg/l and Zn up to 6.47 mg/l.

Soils too, are contaminated with cement dust which made their pH alkaline (8.8) and in stations 1 and 5; heavy metals such as Cd (8ppm) and Pb (482) are over the norms accepted.

Oued Ezzatine's waters are classified as highly polluted water, for this raison it is strictly forbidden to use for irrigation and watering of sheep and cattle.

Groundwater's station 1 and 4 hasn't escaped from this pollution.

Finally we could establish an epidemiological approach for the relationship between parameters (weight, height and PC) inherent of newborns and industrial pollution.