



Article original

**Quantification de la pollution des sols par le plomb et le zinc émis par le trafic routier
(Cas de la ville de Sidi Bel Abbès, Algérie occidentale)**

Quantification of ground pollution by lead and zinc in relation to the road traffic
(cases of the town of Sidi Bel Abbès, Algeria west)

Salima BOURAS (1), M'hamed MAATOUG (2)
Benchabane HELLAL (1), Nadéra AYAD (1)

(1) Laboratoire de Biodiversité Végétale « Conservation & Valorisation » Département de l'environnement Faculté des sciences Université Dj-Liabes, 22000 Sidi Bel Abbès, Algérie

Courriel :bourassalima@gmail.com(auteur correspondant) ,

(2) Laboratoire d'Agro-Biotechnologie et de Nutrition en Zones Semi-arides
Faculté des sciences Université de Tiaret, 14000 Tiaret, Algérie.

RÉSUMÉ : Dans le cadre d'une étude d'impact du trafic routier sur le degré de pollution des sols par le Plomb et le Zinc, des échantillons de substrat ont été prélevés et analysés le long de la périphérie qui boucle la ville de Sidi Bel Abbès, dans l'ouest d'ALGERIE. Les teneurs révélées par le dosage par spectrométrie d'absorption atomique à flamme, le long du transect montrent clairement une accumulation non négligeable et à des concentrations variables en plomb et en zinc en relation avec le trafic routier.

L'estimation de la mobilité des deux éléments étudiés par rapport à la distance de la chaussée a mis en évidence une dynamique décroissante des polluants proportionnellement liée à l'éloignement de la source de pollution.

Le potentiel Hydrogène, la capacité d'échange cationique, et le pourcentage d'argile sont des paramètres physicochimiques à prendre en considération pour interpréter les teneurs révélées en polluants.

MOTS-CLÉS : Quantification, Sol, trafic routier, Plomb, Zinc, paramètres physicochimiques.

ABSTRACT: Within the framework of an impact study of the road traffic on the degrees of pollution of the grounds by Lead and Zinc, samples of substrate were collected and analyzed along the periphery which buckles the town of Sidi Bel Abbès, in the west of ALGERIA. The contents revealed by proportioning by atomic spectrometry of absorption with flame, along the transect clearly show a considerable accumulation with variable concentrations out of lead and zinc in relation to the road traffic.

The estimate of the mobility of the two elements studied compared to the distance from the roadway highlighted a decreasing dynamics of the pollutants proportionally related to the distance of the source of pollution.

The Hydrogen potential, cation capacity of exchange, and the fraction clay are physicochemical parameters to take into account to interpret the contents revealed of pollutants.

KEY-WORDS: Quantification, Ground, road traffic, physicochemical parameters, Lead, Zinc.



INTRODUCTION :

Les particules fines constituent un important facteur de pollution de l'air, particulièrement en milieu urbain où le trafic routier est dense [1].

La forte croissance du trafic, voyageurs et marchandises, et l'allongement des distances moyennes de déplacement ont des effets néfastes sur l'environnement, ainsi la corrosion des véhicules et les infrastructures routières sont à l'origine d'une contamination de l'environnement par les éléments traces métalliques.

La ville de Sidi Bel Abbés, une ville à réseau routier diversifié et dont le parc automobile annonce 50822 véhicules motorisés en 2009 en hausse de 32% depuis les derniers comptages de 2003, et note une portion de plus de 71% des véhicules âgés de plus de 20 ans d'après les statistiques de 2008, un chiffre jugé excessif.

A la différence de la plupart des contaminants organiques, les éléments traces métalliques (ETM) sont des substances non biodégradables. L'estimation des émissions en polluants et de leurs répartitions dans les compartiments de l'environnement a fait l'objet de différentes études récentes [2, 3].

C'est dans le cadre d'une contribution à une étude d'impact que s'inscrivent les objectifs du présent travail, qui quantifie le degré de contamination des sols en Plomb et en Zinc, qualifie la mobilité de ces derniers, et ressort leur relation avec les critères du sols ; potentiel en Hydrogène (pH), capacité d'échange cationique (CEC) et teneurs en argile (A%).

PARTIE EXPERIMENTALE :

1- Origine des échantillons :

Vingt quatre échantillons de sol ont été prélevés dans la ceinture périurbaine de la ville de Sidi Bel Abbés en avril 2008 (fig. 1).

L'échantillonnage s'est fait le long d'un transecte de 08,7 Km, selon une répartition ciblée sur les hypothèses de travail (trafic routier comme source de pollution), ayant pour avantage une réduction du nombre d'échantillons et confirmation des hypothèses faites au sujet de la pollution, mais pour inconvénients ; la sensibilité aux erreurs

systématiques au cas où les hypothèses ne se vérifieraient pas.

Le choix de cet échantillonnage s'est basé sur les critères suivants :

- le sol : sa structure naturelle et représentative
- le relief : pour son effet de ruissellement
- le repérage : en cas d'échantillonnage ultérieurs sur la même surface

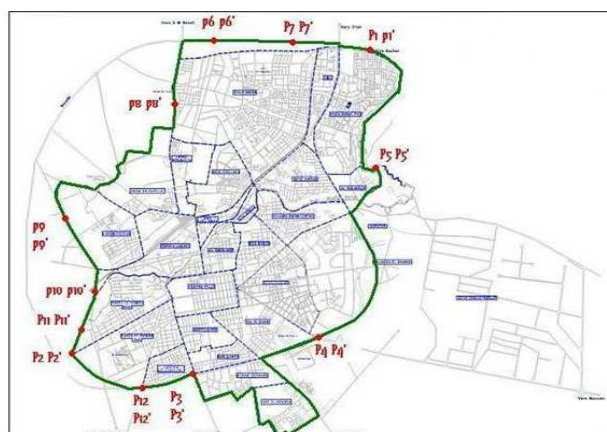


Figure 1 : Localisation des points de prélèvement

Douze de ces 24 échantillons (p1, p2, p3,...,p12) ont été localisés à une distance de 0,5-1m de la chaussée, tandis que les 12 autres échantillons ont été prélevés parallèlement au premiers (p1', p2', p3',...,p12'), à une distance de 2,5-3 m de la chaussée, ceci afin de garder les mêmes types de sol et dans le but d'étudier la dispersion et la mobilité des polluants Pb et Zn en s'éloignant de la source de pollution (fig.2).

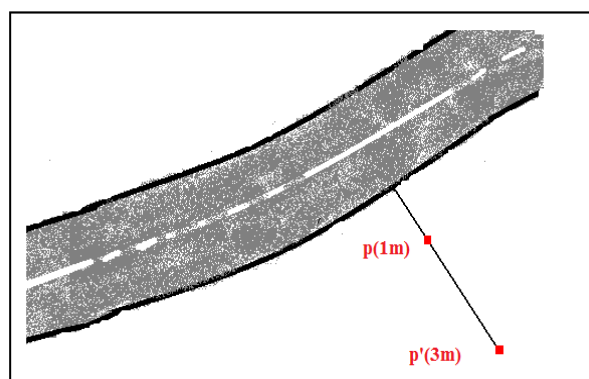


Figure 2 : Prélèvement par rapport à la distance de la chaussée.



2- Les analyses physico-chimiques

Préparation des échantillons de sol :

Des échantillons de 300g de sols sous forme d'agrégats de différentes tailles ont été prélevés à l'aide d'une tarière pédologique à main type GH 150 (GUDE), ils n'ont subi aucune sélection de diamètre, la taille des fraguements variait de la fraction caillouteuse (≤ 2 cm) jusqu'à la fraction fine (< 2 mm), ils ont été tout de suite stockés dans des sacs en plastiques étiquetés et transportés au laboratoire où ils ont été étalés sur des plaques métalliques, séchés dans l'étuve type UL 80 (MEMMERT) à 105°C pendant 24h, une température compatible aux caractéristiques des polluants recherchés (ETM), puis tamisés à l'aide d'une tamiseuse type AS 200 digit (RETSCH) pour éventuellement éliminer les gros fragments solides, ceux-ci n'étant pas habituellement considérés comme faisant partie de la terre fine, ensuite homogénéisés par broyage à l'aide de vibrobroyeur à disques type RS 200 (RETSCH) et mélange.

Après cette série de prétraitement, les échantillons ont été stockés dans des sacs en papier étiquetés et passés à de différentes analyses physico-chimiques.

L'analyse granulométrique :

Elle consiste à classer les éléments du sol par catégorie de diamètre et à déterminer le pourcentage de chaque fraction et cependant classer le sol selon sa texture.

Pour cela nous avons utilisé la pipette de ROBINSON dont la méthode consiste à déterminer la fraction des particules plus petites que 38 micromètres, la fraction ciblée de notre étude.

La méthode est basée sur la différence de vitesse de sédimentation entre les particules légères et les plus grosses. Par effet de sédimentation des particules qui résulte des deux forces opposées: gravité et friction entraînant un mouvement dans un milieu fluide.

L'échantillon est pipeté à différentes périodes et à différentes profondeurs de la suspension

du prélèvement dans une éprouvette, (Durée et profondeur sont déterminées à l'aide de la loi de stokes).

La suspension pipetée est condensée et séchée et la pesée détermine le ratio de masse de la fraction pipetée. Calculer le pourcentage par rapport au poids initial.

Le pH eau :

Par mesure électrique à l'aide d'un pH-mètre type 209 SE (HANNA), nous avons mesuré le pH eau, après avoir pesé 20 gr de terre fine séchée et introduit dans un bêcher de 100 ml et ajouté 50 ml d'eau bi-distillée. Les solutions sont passées à l'agitation pendant 30 mn et laissées au repos pendant 20mn.

La CEC :

Nous avons pesé 1ou 2g de sol tamisés à 2mm en fonction de la texture (P) et mis dans un tube pesé au préalable vide (A), y ajouter 35ml de chlorure de Barryum et agiter pendant 3mn puis repos 5mn et agiter à nouveau pendant 3mn. Centrifuger à 3000 tr /mn pendant 5mn, recueillir le surnageant. Refaire l'opération 3 fois. Laver avec 25 ml d'eau distillée, centrifuger et peser (B), ajouter 25 ml de MgSO_4 et centrifuger. Titrer avec N solution à l'acide éthylène-diamine-tétra-acétique (EDTA), puis calculer :

$$\text{CEC} = \frac{1}{P} \left[250 - 10 \frac{N_1}{N_2} (25 + B - A) \right]$$

Avec N_1 pour le témoin

N_2 pour l'échantillon

Les valeurs sont données en Meq / 100g de sol

La mise en solution par attaque tri-acide (HF-HClO_4) ; minéralisation :

Avant le dosage des métaux par l'absorption atomique, les échantillons doivent subir une série de manipulations qui permet la mise en solution totale d'ETM (Pb et Zn). Cette méthode modifiée par RITTER C.J et BERGMAN S.C., 1978, et SUNG J.F.C et al., 1984, utilisée ensuite par SERPAUD B et al., 1994, ou encore DURAND C., 2003, permet un rendement d'extraction de 93-98 % [4].



Peser 0.5g de sol de chaque échantillon et les mettre dans des creusets en porcelaine avant de les placer dans l'étuve à 105°C pendant 2 heures, pour enlever l'humidité puis laisser refroidir 45 minutes.

Les échantillons sont en suite calcinés à 450°C dans le four pendant 3 heures, et sont prêts à subir une minéralisation comme suit :

Ajouter à chaque échantillon 10ml d'acide fluorhydrique 40% (HF) et 3ml d'acide perchlorique 70% (HClO₄) et laisser évaporer à sec sur une plaque chauffante à 160°C sous une hotte chimique, récupérer les résidus par 1ml d'acide nitrique 65% (HNO₃). Rajouter en plus, 10ml d'eau distillée en laissant 30 minutes de contact à froid puis porter 1 heure sur la plaque chauffante à 60°C pour une dissolution à chaud des résidus. Transférer le mélange obtenu dans une fiole à 200ml par filtration sur papier de filtration 0.2 µm adaptable aux seringues du spectromètre et ajuster au trait de jauge par l'eau distillée, les solutions sont ensuite stockées dans des tubes à essai à bouchons en liège.

La quantification des ETM (Pb et Zn) en solution :

La quantification des métaux lourds Pb et Zn s'est réalisée par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) type four et flamme (SAFAS) en mode d'atomisation électrothermique sur une solution obtenue par minéralisation par attaque acide et dont les résultats sont exprimés en partie par million (ppm) [5].

Le principe est dans l'atomiseur de flamme qui agit en un nébuliseur qui convertit l'échantillon en un aérosol qui est alimenté dans le brûleur. L'atomisation se produit dans la flamme qui habituellement est alimenté par de l'Acétylène et du Protoxyde d'Azote.

À partir des lectures d'absorbance pour les solutions étalons à plusieurs dilutions, commençant par la plus diluée, tracer un graphique nuage de points en utilisant le chiffrier type EXCEL, de l'absorbance en fonction de la concentration. Nous traçons la courbe de régression linéaire et obtenons l'équation de la

régression ainsi que le coefficient de détermination. L'équation de régression représente la courbe de calibration de l'appareil.

À l'aide de la courbe de calibration nous déterminons les concentrations du Pb et Zn. Pour les échantillons dilués, nous multiplions la concentration déterminée par le facteur de dilution. Les résultats obtenus en mg/kg selon la relation suivante :

$$\text{mg/kg} = (\text{mg/L} \times \text{dilution primaire} \times \text{dilution secondaire}) / \text{masse (g)}$$

Nous avons convertis nos résultats en ppm pour pouvoir les interpréter en écologie selon les normes internationales.

L'ensemble des résultats analytiques obtenus a été traité statistiquement par méthode du Box plot à l'aide du logiciel STATISTICA 6.

RESULTATS ET DISCUSSIONS :

1- Comparaison des concentrations obtenues à celles fixées par les normes internationales :

Les concentrations en Pb et Zn obtenues après dosage semblent dépasser les valeurs seuils fixées par les normes internationales en fonction du pH du sol (Tab. I).

Le pH est un facteur prépondérant de la rétention des métaux car il contrôle la totalité des processus affectant le comportement de ces éléments.

La variation du pH (naturelle en anthropique) semble être le facteur dont l'action sur la mobilité des métaux est la plus déterminante. [6].

Tableau I - Valeurs seuils en ETM pour les sols en fonction du pH (France et Union Européenne)

ETM en ppm	Projet de la révision de directive européenne (2000)		
	5<pH<6	6<pH<7	pH>7
Pb	70	70	100
Zn	60	150	200

En se référant aux chiffres (Tab. I), et avec une valeur moyenne du pH de nos sols égalant 7,34, et une valeur moyenne de concentration en Pb de 643,61 ppm, et une valeur moyenne de concentration en Zn de 836,93 ppm, nos



échantillons de sols enregistrent près de 6,43 fois la norme pour le Pb et 4,18 fois la norme pour le Zn.

Aussi, on s'est référé aux valeurs seuils recommandées en fonction de la CEC (Tab. II), connaissant que la valeur moyenne en CEC de nos échantillons égale 13,67 Meq / 100g de sol ; inférieur à 15.

La capacité d'échange des cations est interdépendante et détermine en une grande part les quantités des polluants retenus dont l'adsorption peut être représentée par la CEC qui correspond à la quantité des cations maximale que le sol peut retenir par adsorption physicochimique. En effet, la rétention des métaux lourds augmente avec l'augmentation de la CEC [7, 8].

Nous rappelons qu'un sol contaminé est un sol contenant une concentration en polluant dépassant les seuils tolérés par les normes selon les paramètres physicochimiques du sol.

Cependant, alors on pourra juger les sols mitoyens aux chaussées routières de la ville de Sidi Bel Abbès comme étant désormais contaminés par le Pb et le Zn issus du trafic automobile.

Tableau II - Concentrations maximales recommandées en ETM dans les sols, selon la CEC [9].

CEC (Meq / 100g de sol)	Zn (ppm)	Pb (ppm)
CEC<15	160	70
CEC>15	80	35

2- Dispersion des polluants en fonction de la distance de la chaussée

On met en évidence la dispersion des polluants en fonction de la distance de la chaussée dans une courbe de régression type exponentiel

$$Y = 685,23 e^{-0,032 x}$$

Sur l'axe des abscisses (X) sont représentés les N° de profils, au nombre de 24, sachant que les

12 premiers ont été prélevés à 1m de la chaussée et les 12 autres, plus loin, à 3 m, quant à l'axe des ordonnées (Y), il est représenté par les différentes teneurs en polluants (Pb et Zn) en ppm.

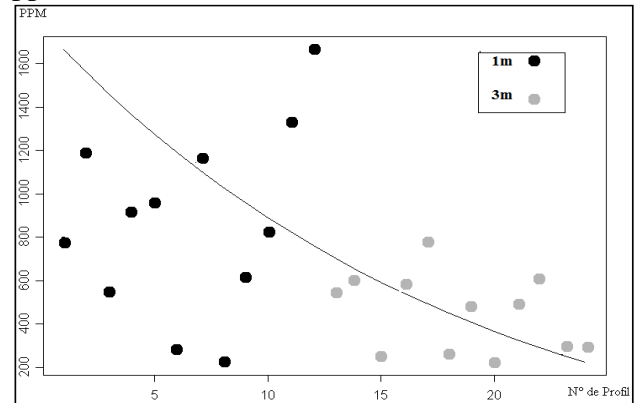


Figure 3 - Evolution des concentrations des Pb et Zn en fonction des distances de la chaussée.

La courbe manifeste une décroissance proportionnelle à l'éloignement de la chaussée, les échantillons prélevés près de la chaussée révèlent des teneurs bien plus élevées que celles révélées par les échantillons placés loin de la chaussée (Fig. 3). Ceci confirme ainsi ce qu'a été déclaré à travers des études portant sur les concentrations des polluants dans l'air, le sol et les végétaux en fonction de l'éloignement aux voies de circulation; les concentrations sont plus importantes au niveau du terre plein central mais qu'elles diminuent de façon exponentielles avec l'éloignement à l'autoroute ou à la route [10].

La pollution métallique varie généralement dans les trois dimensions de l'espace et que les concentrations des polluants montrent de grandes variations dans l'espace par rapport aux sources d'émission [11, 12].

3- Effet du pourcentage d'argile sur les concentrations en Pb et Zn

L'analyse granulométrique des sols étudiés a révélé des pourcentages infimes d'argiles. Les textures révélées varient entre le limoneux-sableux, et le sablo-limono-argileux.

La capacité d'échange cationique du sol augmente par le fait que l'argile et la matière organique sont considérées comme de nouveaux



sites d'adsorption et du fait, ça entraîne une augmentation de la capacité d'adsorption [13].

Sur le tableau III sont représentés les résultats d'une analyse de la variance à un seul facteur, qui par une valeur de F de Fischer calculée nous avons pu déterminé la significativité de l'effet de la fraction argileuse sur les concentrations en Pb et Zn.

Tableau III - Analyse de variance : effet de A% sur les teneurs en Pb et Zn

	SC	ddl	MC	F
A%	11356051	14	811146,5	6,594729 ***
Erreur	1229992	0	122999,2	

*** haute significativité

SC : somme des carrés

MC : moyenne des carrés

Ddl : degré de liberté

F : valeur de Fischer calculée pour 5%

Or, l'effet significatif du facteur argile se traduit par le fait que les argiles sont des surfaces aptes à la rétention des ions positifs Plomb (Pb⁺²), et Zinc (Zn⁺²) à cause de leur charge négative [14].

CONCLUSION :

L'approche scientifique utilisée pour évaluer l'effet direct et indirect du transport routier sur

l'environnement notamment sur les sols à proximité des routes a permis de doser le Plomb, le Zinc. De fortes concentrations de ces éléments métalliques polluent considérablement le sol situé à proximité de la route. Le plomb est présent dans les lubrifiants, les pneumatiques, les plaquettes de freins et les sels de déverglage. Les émissions automobiles de zinc correspondent aux additifs utilisés dans les lubrifiants, mais la source la plus importante de zinc provient des glissières de sécurité et des clôtures. Le zinc est donc un indicateur des niveaux d'équipements de la route, c'est aussi un traceur de l'aire d'influence routière [15].

Le Plomb et le Zinc peuvent être remobilisés selon divers mécanismes et contaminer le reste du milieu et en particulier les nappes phréatiques [16].

Les enjeux du suivi des émissions d'ETM sont principalement sanitaires, ils sont liés à leur persistance dans le milieu naturel, à leur caractère bioaccumulateur dans l'environnement et à leurs effets sur la santé.

Le rôle de l'occupation des sols et de leur fonctionnement sur la distribution et de la mobilité du Pb et du Zn aux différentes échelles sur l'importance de l'échantillonnage, la représentativité des échantillons et la nécessité d'une étude approfondie du système considéré afin de répondre au mieux aux questions vis-à-vis de la prévention des risques dans un milieu complexe tel que le sol, pour aboutir aux perspectives de cette étude [17].

REFERENCES

[1] KERBACHI R. et al - *Pollution par les particules fines dans l'agglomération d'Alger*. Colloque international Environnement et transports dans des contextes différents, Ghardaïa, Algérie, 16-18 fév. 2009. Actes, ENP ed., Alger, p. 31-40

[2] NRIAGU J. et BECKER C. (2004) - *Volcanic emissions of*

mercury to the atmosphere: global and regional inventories. Science of the Total Environment. pp331-333.

[3] PAGOTTO C. (1999) - *Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier*. Thèse de doctorat : Chimie et microbiologie de l'eau : Sciences et techniques., Université de Poitiers., 252 p.

[4] DURAND C. (2003) - *Caractérisation physico-chimique des produits de l'assainissement pluvial., Origine et devenir des métaux traces des polluants organiques*. Thèses de doctorat.,

[5] CETA N. (2004) - *Comparaison de méthodes d'analyse des Eléments Traces Métalliques ETM et des*



Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques HAP sur les sols et végétaux. La collection Rapport d'étude., ed : CERTU., p 8-10.

[6] RAMADE F. (1993) - *Dictionnaire Encyclopédique de l'Ecologie et des Sciences de l'Environnement.* Edisciences international., 822 p.

[7] DUCHAUFOR P. (1995) - *Pédologie, sol, végétation, environnement.* (4^{ème} édition). Abrégés., Paris., ed :Masson., 324p.

[8] JUSTE. (1995) - *Les micro-polluants métalliques dans les boues résiduelles des stations d'épuration urbaines.* Convention ADEME-INRA, ADEME éd., 209p.

[9] GIROUX et COLL. Cité in WEBER M.D. (1991) - *Contamination des sols agricoles. centre de recherche de l'est sur les céréales et les oléagineux.* (CRECO), CANADA, chapitre 09.

[10] DELETRAZ G. et PAUL E. (1998) - *Etat de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers*

à proximité des routes et autoroutes. Rapport intermédiaire non confidentiel., ADEME., 144p.

[11] FRASSEN H.J.W.M.H., VAN EIJNBERG A.C et STEIN A. (1997) - *Use of spatial prediction technics and puzzy classification for mapping soil pollutants.* Geoderma, p 243-262.

[12] CETA N. (2004) - *Comparaison de méthodes d'analyse des Eléments Traces Métalliques ETM et des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques HAP sur les sols et végétaux.* La collection Rapport d'étude., ed : CERTU., p 8-10.

[13] MARTIRNELLI I. (1999) - *Infiltration des eaux de ruissellement pluvial et transfert des polluants associés dans le sol, urbain.* Thèse de doctorat., L'institut national des sciences appliquées de LYON., p 73-107.

[14] DUCHAUFOR P. (1997) - *Pédologie, sol, végétation, environnement.* (5^{ème} édition), Abrégés., Paris.,ed : Masson.,pp 264-266.

[15] SETRA-MAZOUÉ S. (1994) - *Impact du trafic routier sur l'environnement .La contamination du sol par voie aérienne.* DESS Pollution chimiques et environnement, Rapport SETRA-CSTR, B 9411., 67p

[16] DELMAS –GADRAS C. (2000) - *Influence des conditions physico-chimiques sur la mobilité du plomb et du zinc dans un sol et sédiment en domaine routier.* Thèse de doctorat., Université de PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR., 52 p.

[17] FERNANDEZ-CORNUDET C. (2006) - *Devenir du Zn, Pb et Cd issus de retombées atmosphériques dans les sols, à différentes échelles d'étude.*

-Influence de l'usage des sols sur la distribution et la mobilité des métaux. Thèse de doctorat., l'Institut National d'Agronomie Paris-Grignon., p 06

[18] BOURAS S. (2009) – *Contribution à l'étude de la pollution des sols de la ville de Sidi Bel Abbes par le Pb et le Zn à proximité des routes.* Mémoire Magister, Sidi Bel Abbes