

Étude de l'impact d'une industrie cimentière sur la composition physico-chimique des eaux de précipitations au niveau de la partie centrale du couloir Oujda-Taourirt (Maroc Oriental)

Mohamed EL KHARMOUZ^{1*}, Mohamed SBAA¹, Mustapha OUJIDI² et Sanae SAADI¹

¹ *Université Mohammed Premier, Faculté des Sciences, Département de Biologie, Laboratoire d'Hydrobiologie et Ecologie Générale, BP 524, CP 60000 Oujda, Maroc*

² *Université Mohamed premier, Faculté des Sciences, Département de Géologie, Laboratoire de Géosciences de l'Environnement et Valorisation des Bassins Sédimentaires, BP 524, CP 60000 Oujda, Maroc*

* *Correspondance, courriel : m.elkharmouz@gmail.com*

Résumé

Au niveau de la partie centrale du couloir Oujda-Taourirt, la cimenterie Holcim-Oujda constitue la principale unité industrielle pouvant participer à la pollution atmosphérique. Elle est située dans un domaine rural et limité au Nord par les monts de Beni Snassen et au sud par la chaîne des Horsts. Afin de déterminer l'impact de cette unité industrielle sur la composition physico-chimique des eaux de précipitations, nous avons installé 41 capteurs passifs au niveau des sept communes rurales entourant la cimenterie. Les précipitations recueillies durant les périodes pluvieuses de l'année 2001 et 2002 ont été filtrées à 0,45 µm. Les analyses ont porté sur les composantes physico-chimiques suivantes : pH, conductivité et les métaux lourds (Cd, Cu, Fe, Ni, Pb et Zn).

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de précipitations et leur traitement par le système d'information géographique ont montré que le pH mesuré est supérieur à 5,6, ce qui écarte toute hypothèse de pluies acides au niveau de la zone d'étude. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées à proximité de l'usine, à cause des matières en suspension riches de la chaux vive (CaO). Concernant la conductivité, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées à proximité et au sud de l'usine. L'analyse des métaux lourds, a montré qu'il y a absence des éléments traces sauf le Zinc dont l'origine probable était la corrosion de l'entonnoir des capteurs utilisés dans la collecte des précipitations.

Mots-clés : *pollution atmosphérique, matières en suspension, pH, conductivité, métaux lourds.*

Abstract

Study of the cement factory impact on the rainwater physico-chemical composition in the central part of Oujda-Taourirt corridor (Eastern Morocco)

In the central part of Oujda-Taourirt corridor (Morocco), Holcim-Oujda cement factory constitutes the main industrial unit can participates in the atmospheric pollution. It is located in the country domain and limited in the north by BeniSassen's mountain and in the south by Horts's chain. In order to asses cement factory impact on rainwater composition, we installed 41 passive sensors at the seven country district surrounding the cement factory.

The rainwater gathered during the rainy periods of the 2001 and 2002 years are filtered at $0.45\mu\text{m}$. we analysed the following physico-chemical components: pH, conductivity and heavy metals (Cd, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn). Obtained results have shown that pH exceeds 5.6. That moves aside any hypothesis of acid rains of area of study. The highest values were recorded near the cement factory because of aerosols riches in ions chlorides and ions ammonium. The conductivity values are higher near and in the south of factory. The analysis of heavy metals, showed that there is absent in the rainwater except the zinc, that the origin is probably the corrosion of the funnel of sensors used in the collection of rainfall.

Keywords : *atmospheric pollution, fine dusts, pH, conductivity, heavy metals.*

1. Introduction

Les aérosols sont produits soit au cœur même de l'atmosphère par suite de réactions chimiques de conversion gaz-particules comme l'oxydation photochimique de l'anhydride sulfureux [1], soit aux différentes frontières du réservoir atmosphérique, tel que, l'arrachement mécanique de la fraction des sols non protégés par un couvert végétal, Le relargage, par les végétaux, de particules riches en métaux [2] et l'activité industrielle et domestique [4]. Ces fines particules, disséminées par les vents dans la troposphère, sont véhiculées par les masses d'air avant de retombersous forme sèches ou humides à des distances plus ou moins importantes de leur point d'émission. Le nettoyage de l'atmosphère par voie humide s'effectue selon deux modes connus sous les noms de « rain out » et de « wash out ».

Le « rain out » consiste en la capture des particules par les gouttelettes de nuage en cours de croissance. Les constituants solubles de l'aérosol se trouvent ainsi incorporés aux gouttes. Cet effet de filtration de l'air lors du déplacement du nuage a donc une incidence sur l'évolution du niveau de la pollution atmosphérique particulaire. Le « wash out », quant à lui, est le piégeage des particules pendant la précipitation, entre le nuage et le sol, soit par capture à la suite de chocs, soit par entraînement par les filets de l'air déplacés lors de la chute des gouttes. L'interception est fonction de la taille de la goutte d'eau, de celle de la particule et de leurs vitesses respectives. Depuis son installation au Maroc oriental, vers la fin des années soixante-dix, l'usine Holcim-Oujda est la seule source anthropique de la pollution atmosphérique dans la région, il émet chaque année des quantités plus ou moins importantes de poussières sous forme de particules fines, qui sont trop chargées en cendres de charbon et de la chaux vive (CaO), accompagnées des gaz et d'oxydes de nitrogènes (NOx).

Dans cette optique, le présent travail a fixé comme principal objectif, le suivi spatio-temporel de la composition chimique des eaux de précipitations en analysant le pH, la conductivité et les métaux lourds en essayant d'évaluer la part de la cimenterie Holcim-Oujda dans ces polluants.

2. Présentation de La zone d'étude

La zone d'étude faite partie du couloir Oujda-Taourirt situé au nord Est du Maroc. Ce couloir qui s'allonge dans le sens de WSW- ENE sur plus de 100 kilomètres est enclavé entre deux chaînes de montagnes : Les Beni snassen au nord et les monts d'Oujda au sud (*Figure 1*).

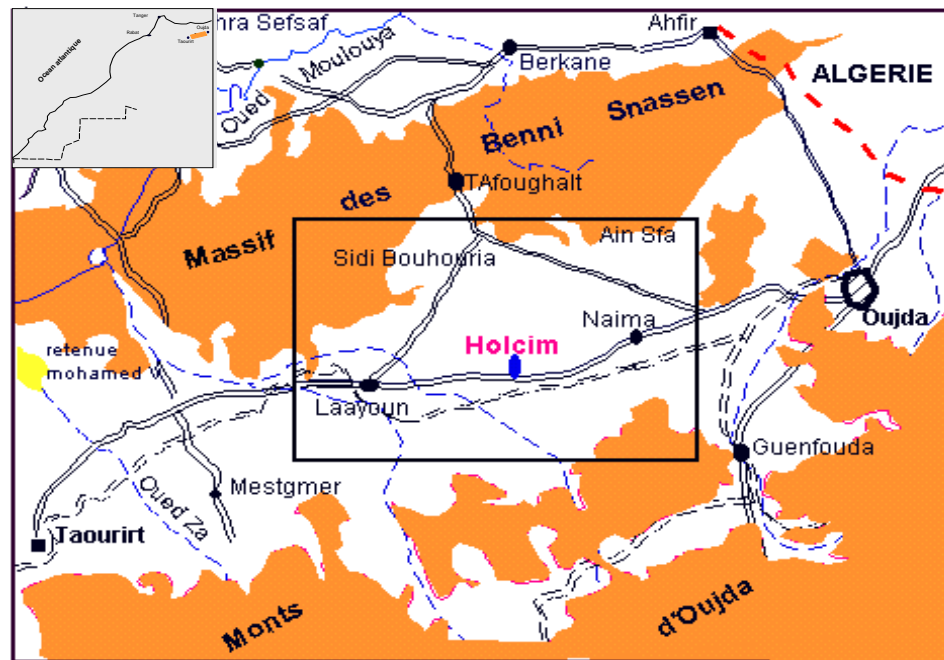


Figure 1 : Localisation géographique de la zone d'étude

Le couloir Oujda-Taourirt est soumis à un climat aride à photopériodisme quotidien et saisonnier. Il est caractérisé par un été sec, de durée variable et un hiver pluvieux. En fait les précipitations se répartissent sur trois saisons (Automne, Hiver et le printemps). Dans l'ensemble, leurs quantités ne sont pas très importantes et elles tombent assez souvent sous formes d'averses brutales [17]. Les vents dans le couloir sont constamment présents, même à faible vitesse et exercent des influences considérables sur la végétation et le sol. Parmi ces vents on distingue : (i) Les vents du Nord qui sont d'origine méditerranéenne, humides et caractérisés par une vitesse très faible. (ii) Les vents de l'Ouest qui sont d'origine atlantique et pluvieux. Ces vents dominent avec 70% dans la moyenne totale surtout en hiver et au printemps. (iii) Les vents de l'Est et de Sud qui sont également appelés chergui, d'origine continentale, ces vents sont chauds et secs, surtout en Été.

3. Matériel et méthodes

L'usine Holcim est située au niveau du couloir Oujda-Taourirt entre les villes d'Oujda et celle de Laâyoune (Maroc oriental). Elle est entourée par les communes rurales suivantes : Ain Lahjar, Rislane, Mestferki, Bsara, Bouhouria, Sidi Moussa Mhaia et Ain Sfa. 41 capteurs passifs ont été placés sur un rayon de 20 Km autour de l'usine : 16 capteurs au niveau de la commune de Ain Lahjar, 9 capteurs au niveau de Rislane, 4 capteurs au niveau des Bsara, 4 capteurs au niveau de Mestferki, 4 capteurs au niveau de Bouhouria, 3 capteurs au niveau de Sidi Moussa Mhaia et un seul capteur au niveau de Ain Sfa. (Figure 2).

Ces capteurs non sélectifs reçoivent en plus d'aérosols provenant de l'usine, d'autres aérosols d'origine naturelle (aérosols marins et terrigènes) soit sous forme sèche (poussières accumulées) soit sous forme de précipitations susceptibles d'être chargés en constituants solubles de l'aérosol et de particules piégées entre le nuage et le sol.

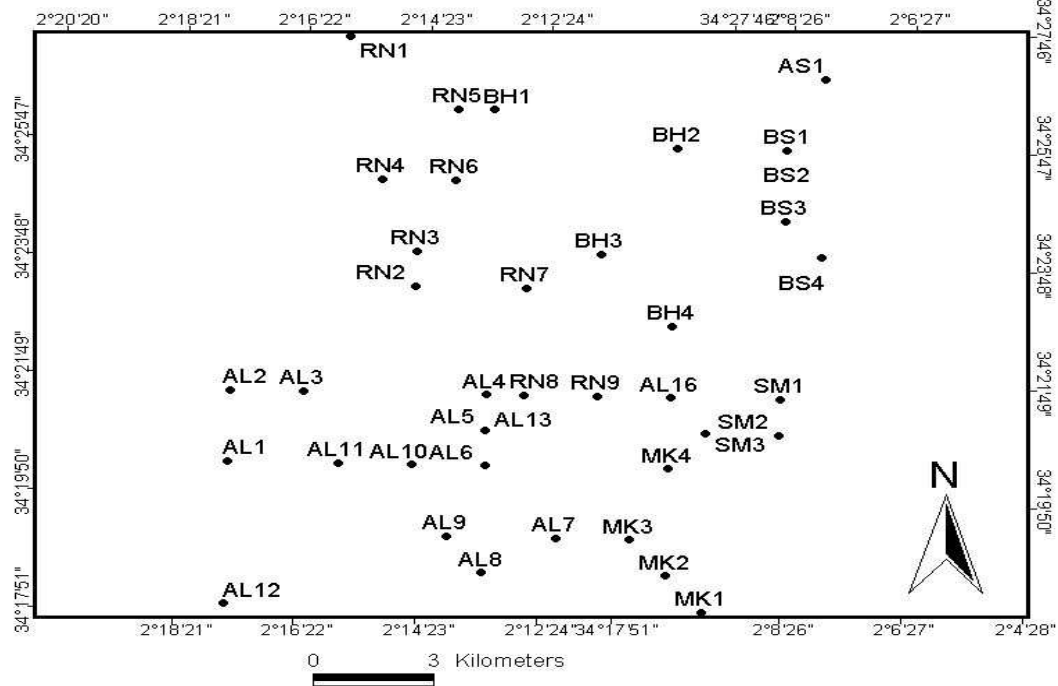


Figure 2: Situation des capteurs passifs au niveau de la zone d'étude

Les précipitations ont été échantillonnées durant les périodes pluvieuses s'étalant sur les années 2001 et 2002. Les échantillons ont été filtrés par des filtres de $0,45 \mu\text{m}$. Les analyses de pH et de conductivité ont été faites directement sur le filtrat à l'aide d'un pH-mètre et un conductimètre. Pour les échantillons destinés aux analyses de métaux lourds (Cd, Cu, Fe, Ni, Pb et Zn), ils ont été fixés au préalable par quelques gouttes d'acide nitrique avant d'être analysés par Absorption Atomique de type Varian. Il faut signaler que la campagne de mai, Juillet, Août et septembre 2001 et les campagnes Février, Juin, Juillet, et Septembre 2002 n'ont marqué aucune précipitation, les poussières des capteurs passifs ont été récupérées par l'eau distillée.

4. Résultats et discussion

4-1. Evolution spatio-temporelle du volume des précipitations

Les précipitations récupérées au niveau des capteurs nous ont servi d'outil précieux pour se pencher en partie sur le régime des précipitations au sein de la zone d'étude. L'analyse de l'évolution des précipitations porte sur la présentation de la médiane. L'analyse des **Figures 3 et 4** montre qu'au cours de l'année 2001 les zones de Rislane – Bouhouria – partie Nord de Ain Lahjar constituent le pôle le plus nébuleux avec des taux pouvant atteindre jusqu'à 4500 ml durant le mois de janvier. Au cours de l'année 2002, les zones de Rislane, Ain Sfa et la partie Nord de Ain Lahjar sont les plus arrosées avec un maximum pouvant atteindre 6000ml durant le mois mai. Le volume de ces précipitations pendant les deux années, diminue en allant vers le sud, reflétant un gradient de continentalité orienté nord-sud. En effet, les zones recevant une grande quantité de précipitations sont localisées à proximité de la chaîne des Beni-Snassen, l'une des chaînes les plus arrosées au niveau de l'oriental.

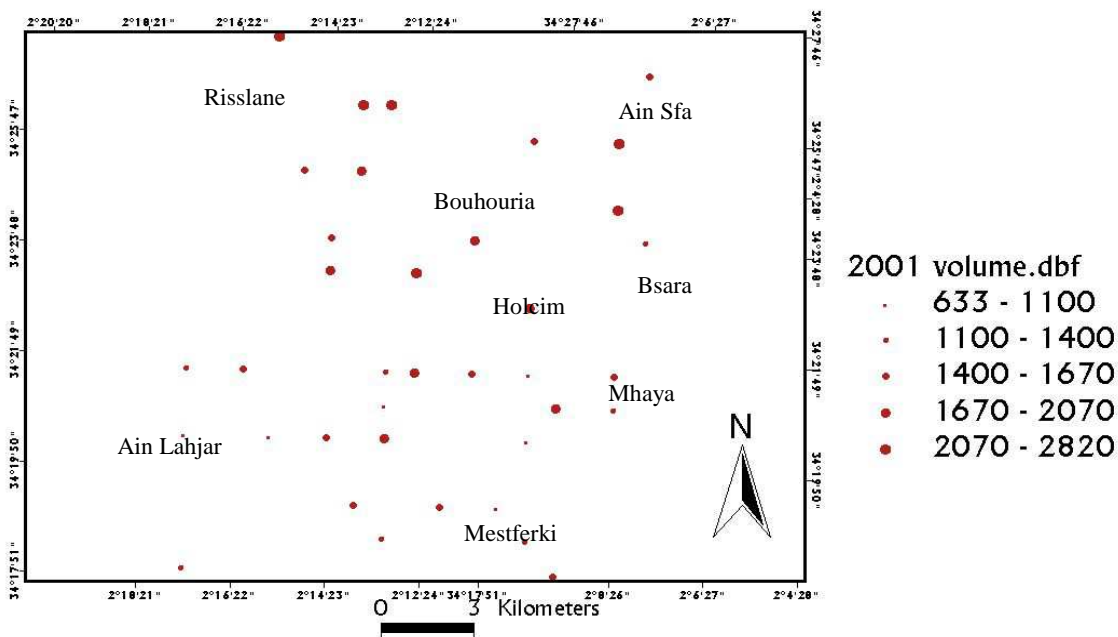


Figure 3 : Variation du régime pluviométrique au niveau de la zone d'étude durant 2001

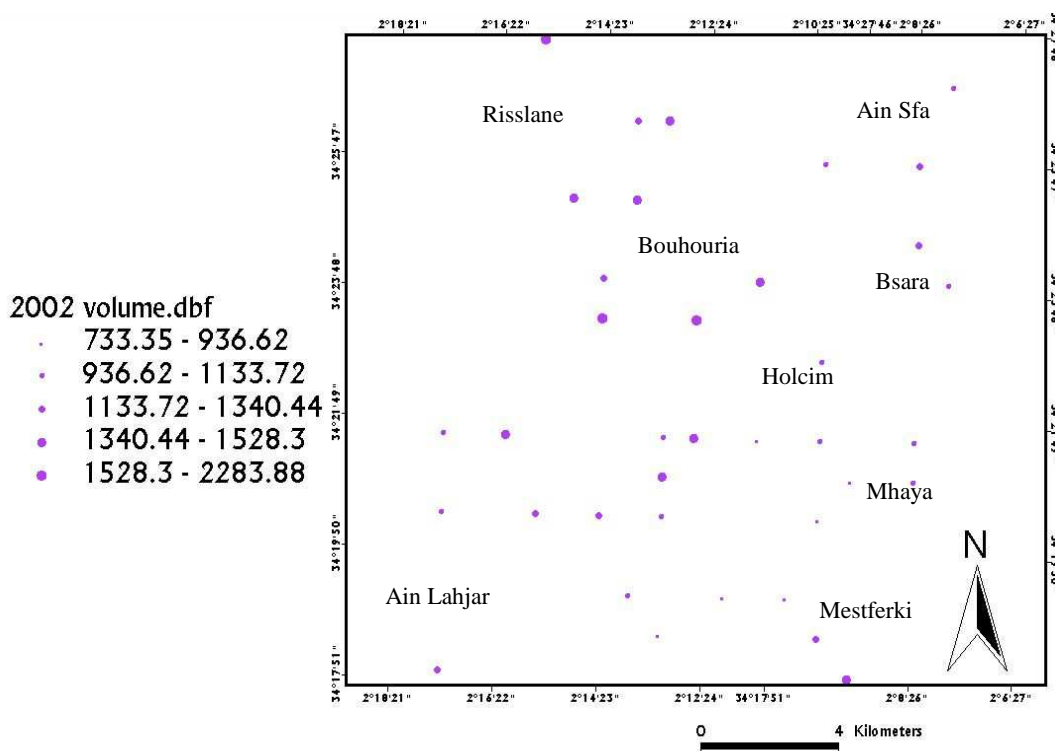


Figure 4 : Variation du régime pluviométrique au niveau de la zone d'étude durant 2002

4-2. Evolution spatio-temporelle du pH des précipitations

Le pH des solutions de précipitations est compris entre 6,79 et 8,42 au niveau de toutes les stations et pour les sept compagnes de l'année 2001 (*Figure 5*) et est compris entre 7 et 8,97 pour les huit compagnes de l'année 2002 (*Figure 6*), sauf pour les précipitations recueillies au niveau du capteur situé à l'intérieur de l'usine où le pH prend des valeurs qui dépassent 9,2. En prenant comme référence la classification des

eaux pluviales définie par [5] selon laquelle les pluies ayant un pH inférieur à 5,60 sont acides et celles ayant un pH supérieur sont alcalines, il ressort de nos mesures de pH que les pluies du couloir Oujda-Tourirrit sont alcalines. Ceci écarte toute possibilité de pollution acide dans la zone d'étude. Cependant les poussières retenues par les capteurs passifs pourraient alcaliniser les eaux de précipitation, ce qui occulterait toute trace d'acidité. Concernant la distribution spatiale, au cours de l'année 2001 et 2002, les valeurs les plus élevées de pH ont été enregistrées au niveau de la commune rurale de Ain Lahjar, la commune où se situe l'usine (**Figures 5 et 6**). Au niveau de la même commune les fluctuations mensuelles sont plus importantes aussi bien en 2001 qu'en 2002.

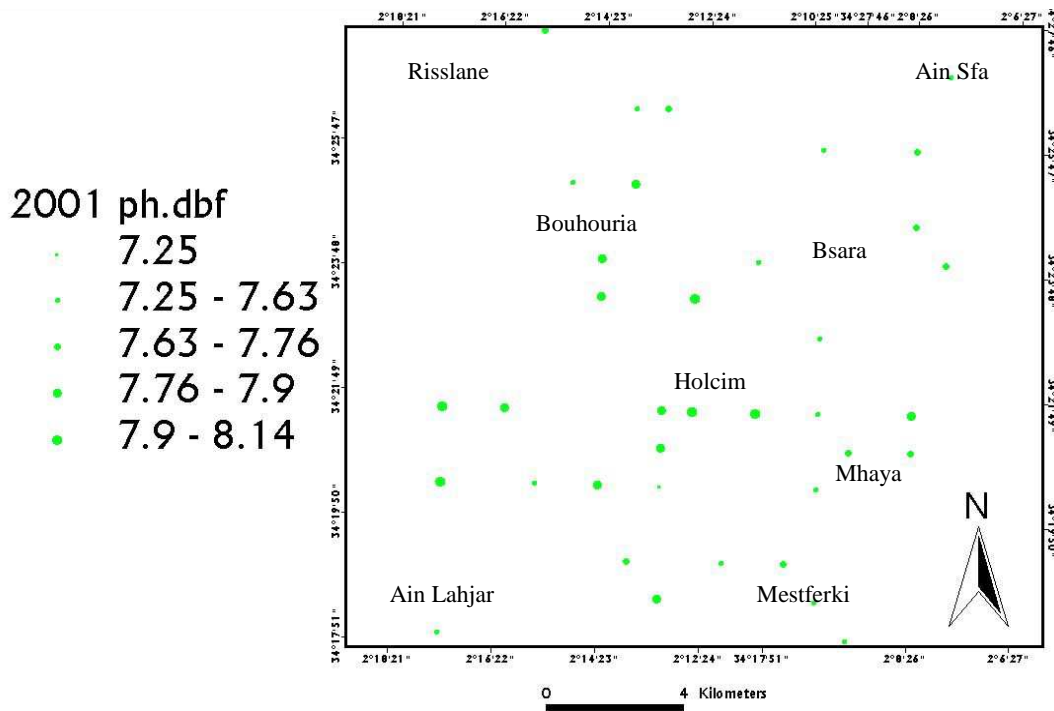


Figure 5 : Variation spatiale de pH des eaux de précipitations recueillis au niveau des capteurs en 2001

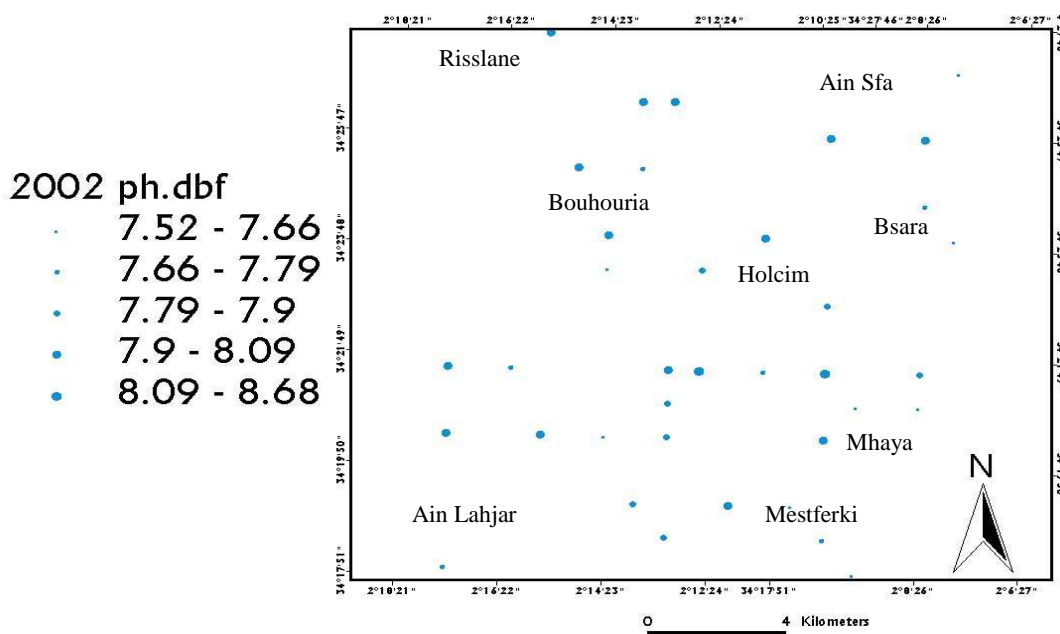


Figure 6 : Variation spatiale de pH des eaux de précipitations recueillis au niveau des capteurs en 2002

Ces valeurs de pH (6,79 – 8,97) répondent aux normes françaises (1989) : selon le décret n° 89-3 modifié, les valeurs du pH des eaux doivent être comprises entre 6,5 et 9.

L'augmentation du pH des pluies collectées aux alentours immédiats de l'usine peut être expliquée par la composition chimique des matières en suspension émises par la cimenterie, en effet le **Tableau 1** montre que ces poussières sont hautement riches en CaO (43,53%). En contact de l'eau, il y a formation de Ca(OH)₂ qui tend à élever le pH d'eau [14].

Tableau 1 : *Composition chimique des poussières émises par la cimenterie, et de la matière première utilisée dans la fabrication du ciment*

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)
Poussières	10,62	3,58	1,47	43,53	1,92	0,99
Calcaire	4,74	1,38	0,68	49,67	1,04	0,51
Argile	48,44	13,08	6,8	10,34	2,63	2,93

Concernant l'évolution temporelle du pH des eaux de précipitations, celles qui ont été collectées en 2002 sont plus alcalines. Ceci peut être expliqué par le régime éolien régnait durant cette année. En effet, les aérosols marins transportés par les vents (80 Km de la zone d'étude) tendent à élever le pH des pluies et les aérosols naturels peuvent tempérer voir « neutraliser » l'effet des activités anthropogéniques. Les capteurs passifs peuvent accumuler jusqu'à 5,7 g de poussières naturelles et anthropogéniques, ce qui changerait les valeurs réelles du pH des eaux de précipitation.

Plusieurs auteurs [9,11,13-15] ont montré que le pH a un effet sur la solubilisation des particules atmosphériques dans l'eau et notamment les métaux lourds qu'elles contiennent. [9] et [11] ont montré dans leurs études que la dépendance de la solubilité de la plus part des éléments métalliques au pH implique une corrélation négative, cependant, dans notre cas les valeurs basiques du pH vont tarder voir empêcher la dissolution des éléments métalliques susceptibles d'être transporté par les matières en suspension collectées par les capteurs.

4-3. Evolution spatio-temporelle de la conductivité des précipitations

L'étude de la conductivité des eaux de précipitations témoigne de la charge minérale de l'eau recueillie. Rappelons qu'une eau désionisée, en équilibre avec le CO₂ atmosphérique, possède une conductivité voisine de 1 µs/cm. Les valeurs de la conductivité des eaux de précipitation varient entre 43-450 µs/cm pour l'année 2001 et entre 47 et 560 µs/cm pour l'année 2002. Elles sont fortement minéralisées en comparaison avec les valeurs trouvées par [18] dans une zone forestière au Cameroun (2-17,6 µs/cm). Les localités qui ont montré les valeurs les plus élevées de conductivité sont situées à proximité et au sud de l'usine (**Figures 7 et 8**), généralement dans les localités les moins arrosées (630-1400 mm). En effet les eaux de précipitations des localités situées au Nord de l'usine, ont présenté un niveau de minéralisation plus faible. Concernant les fluctuations mensuelles, elles sont maximales au niveau de la zone située juste à côté de l'usine et les zone de Bsara et Ain Sfa et ceci pour l'année 2001 et 2002.

Compte tenu de la faible acidité des eaux recueillies et donc de la faible participation des ions H⁺ à la conductivité des solutions, les pluies sont riches en sels ioniques. Ce sont les ions (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, ...) qui peuvent participer à l'augmentation des teneurs en conductivité. Ces ions peuvent être apportés par voies sèche ou humide et ils sont d'origine anthropique et naturelle.

Nous estimons que la voie sèche a participé à l'enrichissement des eaux de précipitations en ions solubles, ce qui a augmenté les valeurs de conductivité. En effet les capteurs passifs utilisés peuvent récolter jusqu'à 5,7 g de poussières par mois. Ces poussières peuvent alimenter en ions (par solubilisation) les eaux de précipitations.

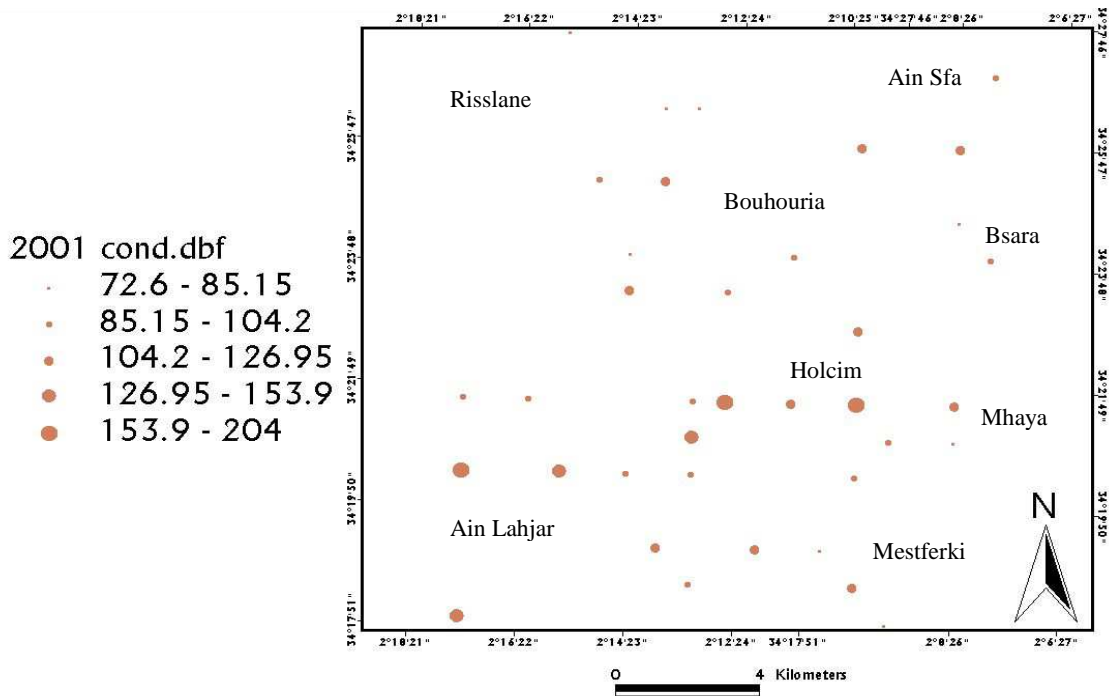


Figure 7 : *Variation spatiale de la conductivité électrique des pluies collectées en 2001*

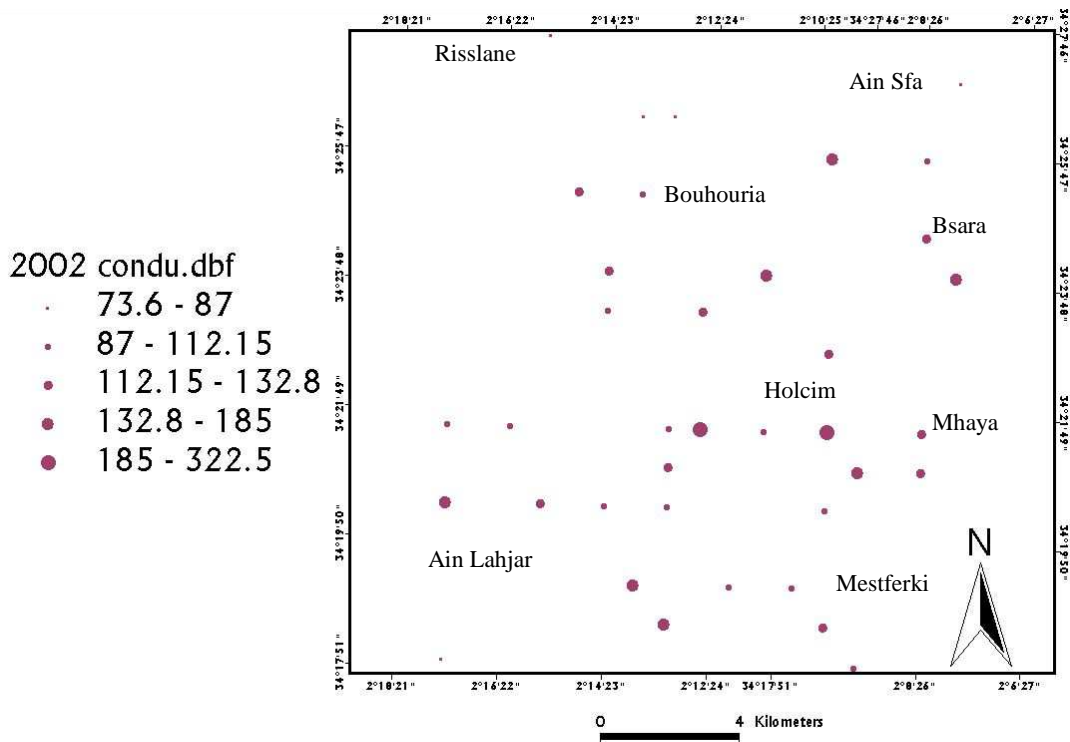


Figure 8 : *Variation spatiale de la conductivité électrique des pluies collectées en 2002*

4-4. Evolution spatio-temporelle de la teneur en métaux lourds

L'analyse des métaux lourds dans les eaux de précipitation recueillis durant Janvier, Mars-Avril et Mai 2001a montré l'absence totale du Cd, Cu, Fe, Ni, Pb et un enrichissement en Zn. La répartition spatiale de la teneur en zinc durant les trois mois (*Figures 9, 10 et 11*) a révélé un point commun entre ces trois campagnes de prélèvement : Les teneurs les plus faibles en zinc ont été enregistrées dans les zones situées à proximité de la cimenterie (source présumé de pollution). Les teneurs en zinc varient entre 0,1 et 1,03 mg/L. Concernant la campagne Janvier 2001 (*Figure 9*), on a noté la présence de trois localités ayant des teneurs plus élevées que les autres, mais avec la diminution des concentrations en zinc des localités nord-est et l'apparition de nouvelles localités au sud qui s'ajoutent à celles de la campagne précédente : (i) au nord-ouest de l'usine avec des teneurs variant entre 2 et 3 mg/L (ii) deux localités au sud et au sud-est de l'usine, avec des teneurs variant entre 1,5 et 3,10 mg/L.

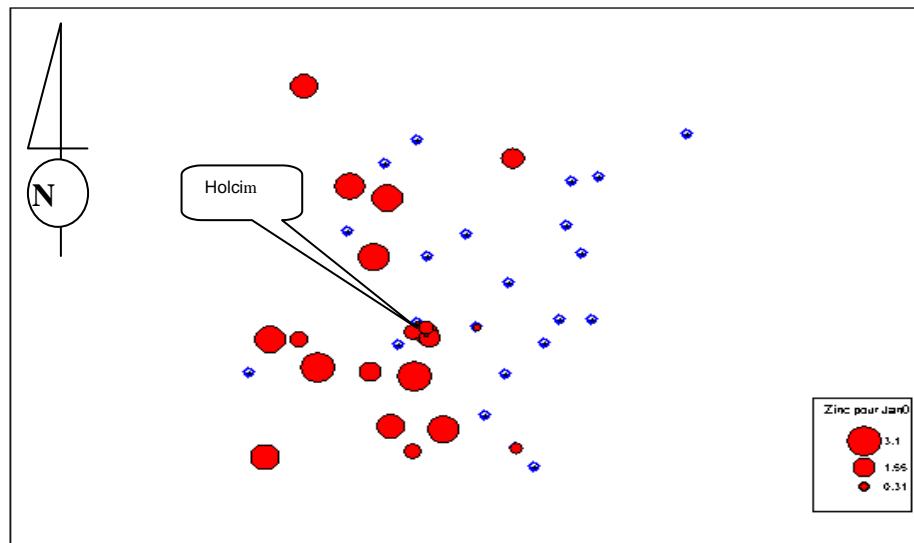


Figure 9: Variation spatiale de la teneur en zinc des pluies collectées en janvier 2001

Pour la campagne Mars-Avril (*Figure 10*), on a noté le retour de la localité nord-est la plus concentrée qu'on a retrouvé lors de la première campagne, où les teneurs varient entre 0,85 et 3,35 mg/L. En outre les deux localités au sud-est et au nord-ouest continuent toujours de manifester : au sud-est les teneurs varient entre 1,51 et 4,98 mg/L ; tandis qu'au nord-ouest les teneurs varient entre 1,20 et 3,56 mg/L.

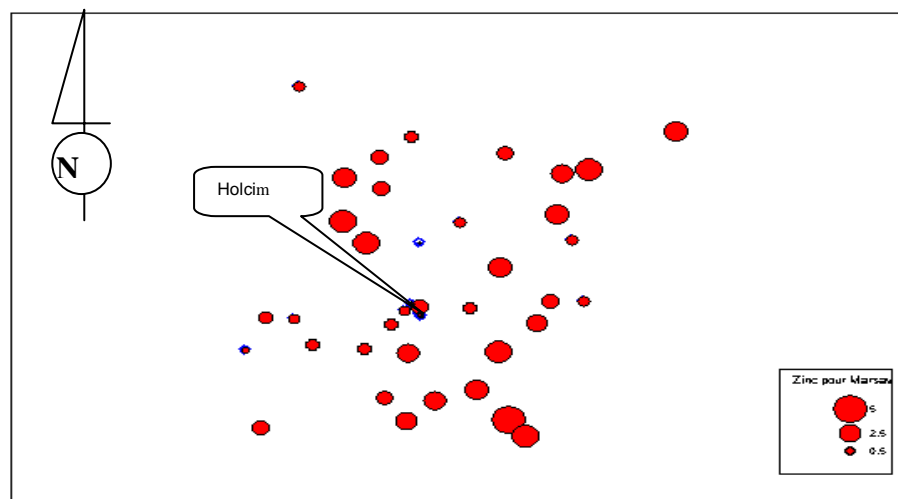


Figure 10 : Variation spatiale de la teneur en zinc des pluies collectées durant Mars-Avril 2001

Enfin pour la campagne Mai 2001 (*Figure 11*), les concentrations de zinc varient entre 0,12 mg/L et 4,71 mg/L. Cette forme de zinc ne provient pas par voie humide mais elle provient des poussières (par voie sèche). En effet pour cette campagne il n'y avait plus de précipitation et les eaux analysées c'est de l'eau distillée utilisée pour récupérer les poussières des capteurs.

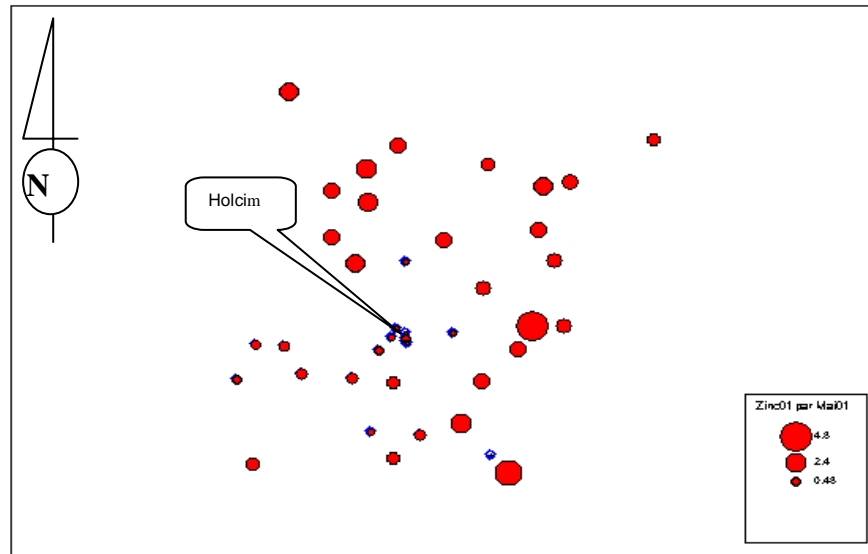


Figure 11 : Variation spatiale de la teneur en zinc des pluies collectées durant Mai 2001

Pour les trois campagnes, l'ordre de grandeur des concentrations de zinc reste homogène et ne dépasse pas 5 mg/L. La représentation de la répartition de la teneur spatiale du zinc sur les trois campagnes révèle la concentration de la pollution du zinc sur l'axe nord-sud par rapport à l'usine. Les teneurs en zinc au niveau de l'axe est-ouest restent faibles. En outre, les localités les plus polluées sont les plus éloignées de la source anthropique (cimenterie).

Les teneurs en zinc des eaux de précipitation issues des capteurs, dépassent en général les directives du conseil des communautés européennes pour les eaux douces (1978) : 0,03 – 0,5 mg/L. Ceci nous amène à rechercher l'origine du zinc retrouvé au niveau des eaux de précipitation, une tâche difficile à accomplir à cause de l'atmosphère, qui forme un système ouvert à toutes les formes d'apport d'aérosols proches ou lointains ; En effet une autre source anthropique qui n'est pas loin de la région étudiée est celle des fonderies de zéridja (usine de plomb) qui pourrait éventuellement participer à un enrichissement en zinc. Cependant d'autres sources naturelles peuvent participer à la pollution atmosphérique par les métaux traces, ce qui nous a amené à postuler des hypothèses pour essayer d'expliquer la présence du zinc et l'absence des autres métaux au niveau des aérosols solubles dans les eaux de précipitation.

Parmi ces Hypothèse, on note les aérosols d'origine marine qui sont plus riches en métaux traces qu'en éléments majeurs alcalins et alcalino-terreux, connus pour être peu chélatés [3]. Cet auteur a établi une relation entre la longueur du trajet des bulles vers la surface et l'enrichissement en Zn et Cu (le fer ne serait pas corrélé) dans l'aérosol marin. [5] a montré avec l'utilisation du microscope électronique sur des prélèvements de micro-couche, que l'adsorption sur la matière organique de fer et du zinc rend compte des enrichissements trouvés. L'enrichissement en Zn et l'absence totale des autres métaux, rend cette hypothèse de l'origine marine du Zn peu plausible.

Une autre hypothèse possible c'est que le Zn trouvé en abondance a un origine terrigène. En se basant sur la composition de la croûte terrestre (Fe : 5000 ppm ; Zn : 70 ppm) [Masson, 1966], le fer et le zinc sont les

deux éléments qui devraient être les plus abondants au niveau des aérosols. La présence du zinc et l'absence du fer pourrait être expliquée par un comportement de solubilité des aérosols dans les eaux de précipitation [7, 13 et 15]. [8] a trouvé que les variations de solubilité du zinc pouvaient être hautement sensibles aux valeurs du pH dans l'eau de pluie. On pourrait donc stipuler que ces aérosols sont très riches en zinc facilement soluble dans l'eau, ce qui expliquerait en partie les enrichissements retrouvés.

Enfin l'hypothèse la plus logique est liée à la corrosion du Zn au niveau des capteurs, en effet, les capteurs utilisés comprennent des accessoires à base de zinc, susceptibles de subir une abrasion sous l'effet des précipitations. Cette corrosion pourrait être accentuée au niveau des localités les plus enrichies en zinc. Concernant les faibles concentrations du zinc retrouvées au niveau des capteurs localisés à proximité de l'usine, on pourrait dire que les poussières issues de l'usine peuvent participer à l'adsorption du zinc et des autres métaux, ce qui diminuerait considérablement la teneur en zinc soluble dans les eaux de précipitation. En effet plus on s'éloigne de la source d'émission plus la teneur en poussières de l'usine diminue et plus la concentration du zinc augmente dans les eaux de précipitation. L'absence des autres métaux et particulièrement le plomb met en doute l'intervention de l'autre source anthropique (usine de plomb situé à environ 50 km au Sud-Est de l'usine de ciment) dans l'alimentation et l'enrichissement en métaux traces.

5. Conclusion

Au niveau de la zone d'étude, les communes de Risslane, Bouhouria et la partie Nord de Ain Lahjar, connaissent de grandes quantités de précipitations que les autres communes, à cause de leur localisation à côté de la chaîne des Beni Sanssen. Les valeurs de pH de ces précipitations répondent aux directives européennes (1978) ($6 < \text{pH} < 9$). Ceci écarte toute possibilité de pollution acide dans la zone. Concernant la conductivité, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau de la zone située juste à proximité de la cimenterie. Concernant l'analyse des métaux lourds, Le zinc reste le seul élément polluant au niveau de la zone d'étude qui pourrait provenir aussi bien de l'usine que d'autres sources anthropiques. Ce résultat pourrait être corroboré par les analyses des métaux lourds au niveau des poussières recueillies au niveau des capteurs passifs. L'analyse des eaux de précipitation dans une zone témoin (non-polluée) nous permettra de trancher sur la possibilité d'utilisation du Zn comme traceur de la pollution atmosphérique d'origine anthropique. En outre des essais de corrosion pourrait élucider et trancher sur une éventuelle contamination par le zinc issu des capteurs.

Concernant les formes d'enrichissement, le zinc retrouvé provient essentiellement par voie sèche (sous forme de poussières) et ceci reste à confirmer par les analyses de poussières accumulées au niveau des capteurs. Les réactions d'adsorption qui peuvent se dérouler au niveau de la solution du capteur (eaux de précipitations + poussières) pourraient jouer un rôle déterminant dans la concentration des formes solubles en métaux lourds au niveau des eaux de précipitation.

Références

- [1] - G. Madelaine, J. Bricard and D. Boulaud, *Water, air and soil pollution*, 4(1975) 453-445.
- [2] - E. D. Goldberg, Rock volatility and aerosol composition *Nature* 260 (1976) p. 128.
- [3] - W. Beaufort, J. Barber and A.R. Barringer, *Science* 195, (1977) 571-573.
- [4] - S. R. Piotrowicz, Studies of the sea to a transport of trace metals in Narragansett Bay, PHD. Thesis, University of Rhode Island.(1977).

- [5] - R. J. Lantzy and F. T. Mackenzie, *Géochim. Cosmochim. Acta.* (1979) p.43
- [6] - C. E. Lambert and C. Jehanno, *Oceanis*, 6 (2) (1981) 153-155
- [7] - J. N. Galloway, G. E. Likens, W. C. Keene and J. M. Miller, *Journal of Geoph. Research*, Vol. 87, 11, (1982) 8771-8786.
- [8] - D. F. Gatz, B. K. Warner and L. C. Chu, "Solubility of metal ions in rainwater" Ed B.B. H. (1984) 133-151.
- [9] - R. Losno, G. Bergametti, and P. Buat-Ménard, *Geophys. Res. Lett.*, 15, (1988) 1389-1392.
- [10] - G. Zhuang, Z. Yi, R.A. Duce and P.R. Brown, *Nature* 355, (1992) 537-539.
- [11] - R. Losno, J. L. Colin, N. Lebris, G. Bergametti, T. Jickells, and B. Lim, *Journal. Atmos. Chem.*, 17, (1993) 29-43.
- [12] - X. Zhu, J.M. Prospero, D. L. Savoie, F. J. Millero, R. G. Zika and E. S. Saltzman, , *J. Geophys. Res.*, 98, (1993) 9039-9046.
- [13] - R. Chester, K. J. T. Murphy, F. J. Lin, A. S. Berry, G. A. Bradshaw and P. A. Corcoran, *Mar. Chem.*, 42, (1993) 107-126.
- [14] - B. Lim, T.D. Jickells, J. L. Colin and R. Losno, *Global Biogeochemical Cycles*, 8, (1994) 349-362.
- [15] - L.J. Spokes, T.D. Jickells and B. Lim, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58, (1994) 3281-3287.
- [16] - M. Millet, H. Wortham and P. Mirabel, *Atmos. Environ.*, 29, (1995) 2625-2631.
- [17] - L.J. Spokes and T.D. Jickells, *Aquatic Geochem.*, 1, (1996) 355-374.
- [18] - A. Khalil, Flore du Maroc oriental: Etude floristique et biogéographique, dynamique de la croissance et analyse architecturale des principales espèces climaciques arborées, thèse d'état, Université Mohamed premier, (1999) 369P.
- [19] - C. M. M.Yvette, J.R. NdamNgoupayou, M. Yemefack and V. Agoumé, *TROPICULTURA* 27, 4, (2009) 239-245.