

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE PLUIES DANS UNE REGION FORTEMENT INDUSTRIALISEE ET URBANISEE. CAS DE LA VILLE DE ANNABA (ALGERIE).

Noureddine Zenati, Nabih Belahcene, Djelloul Messadi
Université Souk Ahras. Faculté des Sciences et de Technologie.
Département Génie Civil. B.P. 1553, Souk Ahras.
Université Badji Mokhtar-Annaba. B.P. 12, Annaba. Algérie.
zenati_noureddine@yahoo.fr, beelnabiha2004@yahoo.fr,
d_messadi@yahoo.fr

RESUME

La pollution atmosphérique est un problème qui touche le monde, et l'Algérie n'échappe pas à cette gêne. Annaba, capitale industrielle de l'Est Algérie, est considérée comme l'une des villes la plus polluée.

Les éléments chimiques concernés sont le plomb (Pb) et le cadmium(Cd), du fait de leur toxicité aiguë, mais également d'autres éléments largement dispersés et ayant un impact potentiel sur les écosystèmes terrestre qui sont : La, Li, Mn, Sr, As, Se, Tl, Ni, Ba, Zn, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻ et SO₄²⁻.

La forte charge minérale (39.50 µs/cm à 25 °C) des précipitations est probablement liée, à une concentration sensible d'aérosols marins, ainsi qu'à un apport important de poussière terrigène d'origine locale (parc automobile, érosion du sol, Complexe sidérurgique arcelor mittal Annaba et asmidal, ...etc.).

Mots clés : Pollution. Pluie. Eléments-traces métalliques. Retombées atmosphériques

Abstract :

Atmospheric pollution is a problem that affects the world, and Algeria does not escape this embarrassment. Annaba, capital industrial of the East Algeria is considered one of the most polluted cities.

The chemical elements concerned are lead (Pb) and cadmium (Cd), because of their acute toxicity, but also of other elements largely dispersed and having a potential impact on the ecosystems terrestrial which are: , La, Li, Mn, Sr, As, Se, Tl, Ni, Ba, Zn, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻ and SO₄²⁻.

The strong mineral load (39.50 µs/cm with 25 °C) of precipitations is probably dependent, with a significant concentration of marine aerosols, like with an important contribution of terrigenous dust of local origin (car fleet, soil erosion, Steelworks arcelor mittal Annaba and asmidal ...etc.).

Key words: Pollution. Rain. metal Element-traces. Atmospheric repercussions

1.INTRODUCTION

Les deux principaux processus par lesquels les éléments chimiques quittent le compartiment atmosphérique sont les dépôts sec ou humide. Le dépôt sec se réalise par la sédimentation, par diffusion ou par impaction sur les sols, bâtiments ou végétaux. Le dépôt humide consiste en un piégeage des particules atmosphériques par les pluies, les brouillards, la neige ou la grêle. L'importance relative de ces deux types de dépôt dépend de la localisation géographique, de l'intensité des pluies mais aussi de la granulométrie des particules, ainsi que de leur caractère hygroscopique [1].

Dans ce contexte, le présent article donne un aperçu sur les caractéristiques physico- chimiques des eaux de pluies ainsi que le

processus des dépôts humides des éléments chimiques qui représentent le lessivage de l'atmosphère.

La wilaya de Annaba est prise comme exemple, elle se situe à l'extrême Nord Est de l'Algérie. Elle est caractérisée par une activité industrielle importante (sidérurgie, peinture, chimique, agroalimentaire, mécanique, ...etc.) (figure 1).

Du point de vue géologie, la région fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie Nord orientale qui s'étend de la région de Constantine à la frontière Algéro-Tunisienne. Elle comporte des affleurements de terrains métamorphiques (Cap de Garde) et des roches éruptives (Djebels : Edough, Belelieta et Boukhadra), des terrains sédimentaires occupent le reste de la plaine [2].

Les sols de la région sont classés en six groupes principaux hydromorphes, halomorphes, vertisols, calcimagnésiques, minéraux bruts et peu évolués, selon la classification établie par DUCHAUFFOUR correspondant à la norme française [3].

La région de Annaba est l'une des plus arrosées d'Algérie, avec une précipitation variant entre 366 mm et 833 mm. Les résultats de calcul des indices d'aridité mensuel d'après la méthode de DE MARTONE donnent l'évolution générale du climat dans la région. On relève un climat sec en septembre, tempéré en octobre et humide de novembre à mars. Les mois d'avril et mai le climat est à nouveau tempéré, pour devenir très sec en juin et hyperaride en fin de cycle durant les mois de juillet et août [4]. D'après les données de la station météorologique des salines, les vents dominants sont de direction nord-ouest et nord-est ; leurs activités se manifestent pendant la période pluvieuse. Ces vents soufflent en

été sous forme de sirocco. Ils sont secs, chauds et souvent assez forts. Les vitesses moyennes mensuelles de ces vents de 2.85 m/s sont plus grandes pendant la saison hivernale

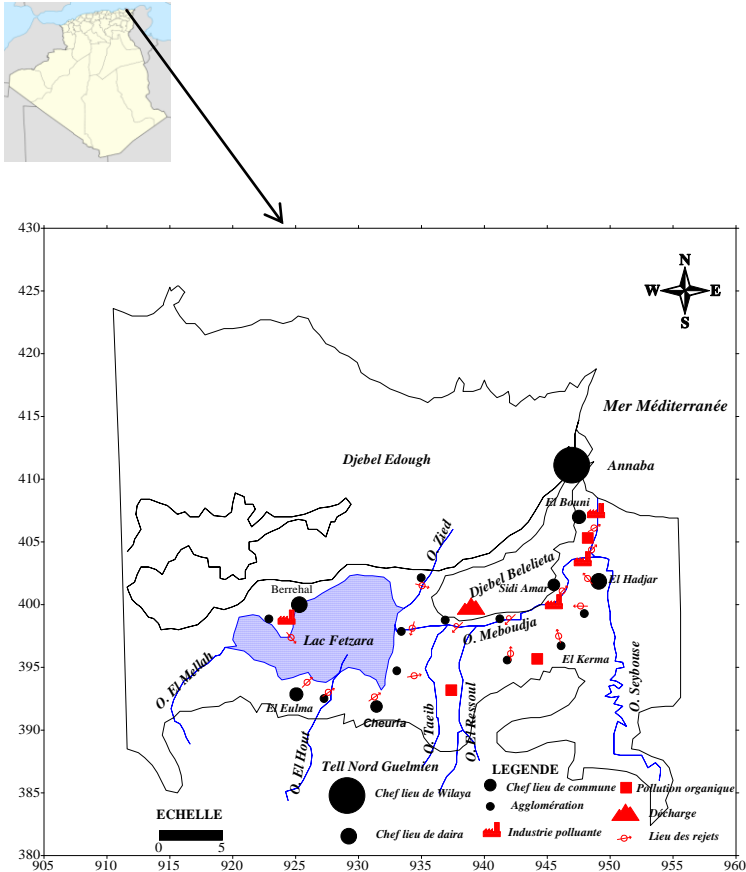


Figure 1. Carte de situation géographique et d'inventaire des sources de pollution

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Echantillonnage et analyse

Le site d'échantillonnage est sélectionné en fonction de plusieurs paramètres (direction du vent, implantation des entreprises polluantes, ...etc.), ceci dans le but de mieux couvrir les différentes typologies des modes de contamination des précipitations.

Ce site est équipé d'un système manuel de collection des eaux de pluie, constitué d'une plaque métallique en forme d'entonnoir (surface de collecte 0.16 m²), d'un flacon et d'un couvercle qui permet de protéger le dispositif des retombées sèches en dehors des périodes de prélèvements.

Lors des campagnes de prélèvement des échantillons nous avons respecté les normes d'échantillonnages (AFNOR/T91E).

Les paramètres physico-chimiques (pH, température, salinité, conductivité, potentiel oxydoréduction, oxygène dissous) sont mesurés in situ à l'aide d'un appareil multi paramètres WTW (Multi 340i/SET).

L'analyse des éléments chimiques majeurs (Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺, Mg²⁺ et Ca²⁺) a été réalisée par volumétrie, par absorption atomique avec flamme et par colorimétrie.

Les éléments métalliques (La, Li, Mn, Sr, As, Se, Tl, Ni, Ba, Zn, Pb et Cd) ont été dosés par émission atomique en utilisant l'appareil "Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy" (ICP-OES) » (Perkin Elmer). L'échantillon est transformé en aérosols par nébulisation, il est ensuite transporté jusqu'à la torche à plasma. Suite à leurs excitations, les éléments émettent un spectre polychromatique. Ces spectres sont captés par un photomultiplicateur qui transforme le signal lumineux en une différence de potentiel caractéristique de l'élément.

2.2 Méthodologie

On établie un lien direct entre la concentration d'une substance dans la pluie et sa concentration dans l'atmosphère à un instant donné. Le dépôt humide " D " sera [1]

$$D = P * SR * K \quad (\text{équation 1})$$

Avec :

D : Dépôt humide en tonne,

P : Quantité des précipitations exprimé en kg,

SR : Valeur donnée dans la littérature ou de référence, estimée par une mesure en parallèle des concentrations dans l'air et dans les pluies sur une période suffisamment longue [1],

K : Concentration atmosphérique mole.kg⁻¹.

Où :

$$SR = \frac{C}{K} \quad (\text{équation 2})$$

Avec :

C : Concentration dans la pluie de la substance mole.kg⁻¹

K : Concentration atmosphérique mole.kg⁻¹

Une autre méthode permet de calculer les quantités des éléments apportés par les précipitations. Ces quantités sont calculées par la formule suivante :

$$T = Q * C \quad (\text{équation 3})$$

Où :

T : Quantité de l'élément en Kg / an

Q : Volume d'eau en m³ / an

C : Concentration moyenne de l'élément en Kg / m³

Sachant que :

$$Q = S * H \quad (\text{équation 4})$$

Avec :

Q : Volume d'eau en m³ / an

H : Précipitations annuelles en m/an

S : Superficie de la région d'étude en m²

D'après [5], il faut affecter les valeurs moyennes des précipitations par un coefficient de reconcentration « e » obtenu d'après la formule suivante :

$$e = P / (P - ETR) \quad (\text{équation 5})$$

Avec :

e : Coefficient de reconcentration
P : Précipitation moyenne annuelle en mm
ETR : Evapotranspiration réelle en mm

La valeur de e accroît sensiblement les valeurs moyennes et correspond à une reconcentration, qui se produit lors de l'évapotranspiration.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans le contexte de la région d'étude, caractérisée par un climat sub humide, sous l'influence marine, la forte charge minérale des précipitations est probablement liée à une concentration sensible d'aérosols marins, ainsi qu'à un apport important de poussière terrigène d'origine locale. Cette valeur est inférieure à 40 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

La formule ionique de ces eaux de précipitation fait apparaître un faciès chloruré calcique, on conclut que les ions les plus abondants sont le calcium et le chlore.

La concentration du calcium est très importante par rapport aux autres cations, elle représente plus de 64.4% de la somme totale des cations. Le sodium arrive en deuxième position avec un pourcentage de 20.3 %, puis le potassium (10.3 %) et le magnésium (5.2 %).

Concernant les anions, les bicarbonates et les chlorures sont en quantités presque équivalentes. La somme de leurs concentrations représente 73.9 % de la somme totale des anions. Les sulfates se situent en troisième position avec un pourcentage de 26.1 %. Les eaux des précipitations ne sont pas influencées par les variations de Eh, cela est dû à l'oxygénation des eaux par l'air. Les eaux de pluie ont un pH à tendance acide de 5.3 en moyenne (tableau 01).

Tableau 01- Teneurs en quelques éléments chimiques des précipitations collectées sous forme d'événement à la plaine Ouest d'El Hadjar - période : 2008 - 2009.

pH	t °C	Cond µs/cm	Salinité	Eh mV	O ₂ dissous meq.l ⁻¹	
5,30	16,70	39,50	0.00	92.00	3,20	
Cl ⁻ meq.l ⁻¹	SO ₄ ²⁻ meq.l ⁻¹	HCO ₃ ⁻ meq.l ⁻¹	Ca ²⁺ meq.l ⁻¹	Mg ²⁺ meq.l ⁻¹	Na ⁺ meq.l ⁻¹	K ⁺ meq.l ⁻¹
0.40	0.19	0.19	0.44	0.06	0.12	0.04

La concentration moyenne pondérée des éléments en traces (Ba, La, Li, Mn, Sr, Zn, As, Cd, Pb, Se et Tl) dans les eaux de pluies oscille entre 0 µg/l (Cd, Ni et La) et 68 µg/l (Ba).

Ces substances véhiculées par l'atmosphère peuvent avoir une origine de l'érosion des sols, des fumées vomies par le complexe sidérurgique Arcelor Mittal Annaba, le complexe des engrais (asmidal) et le parc automobile (tableau 02).

Tableau 02 - Concentrations moyennes pondérés de certains métaux dans les eaux de pluie

Eléments	Ba	La	Li	Mn	Ni	Sr	Zn	As	Cd	Pb	Se	Tl
µg/l	68	0	1	3	0	50	32	1	0	2	7	10

Une classification chimique peut être établie en comparaison avec des précipitations atmosphériques mondiales qui se produisent sous différentes influences (tableau 03).

Tableau 03 - Compositions caractéristiques des précipitations atmosphériques placées sous l'influence océanique [6].

Station	Cl ⁻ (meq.l ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻ (eq.eq ⁻¹)	Na ⁺ /Cl ⁻ (eq.eq ⁻¹)
Pluie Océanique	0.11	0.30	0.86
Pluie côtière	0.52	0.18	0.80
Eau de mer	545	0.10	0.85
Région d'étude	0.40	0.47	0.3

La concentration moyenne en chlorure (0.40 meq.l⁻¹) des pluies collectées dans la région d'étude est voisine de celle des précipitations mondiales sous influence côtière (0.52 meq.l⁻¹). L'ion chlorure pouvant donc servir d'élément marin de référence. Les différents rapports ioniques moyens différents des eaux de type côtier, suggèrent un enrichissement en sulfate et un déficit en sodium dans les pluies de la région d'étude.

En France, les teneurs en chlorures et en sodium des eaux de pluies décroissent de l'océan vers l'est [6]. De même [7], dans le bassin de la Dranse (Haute Savoie), on note des concentrations en chlorure et sulfates plus importantes en hiver qui sont en relation

avec les combustions de fuel durant cette période. Les sulfates peuvent être issus de la volatilisation à partir de la mer, d'un sulfate réduit ou d'autres sulfures qui après une oxydation dans l'atmosphère, ils sont entraînés par les précipitations sous forme de sulfates [8].

L'influence du vent sur la pollution atmosphérique est très variable selon la position de la source. Généralement la vitesse du vent augmente avec l'altitude. Au fur et à mesure que les polluants s'élèvent, la dispersion est facilitée par le vent. Plus le vent est fort, plus les niveaux de pollution seront bas. En revanche, un vent de faible vitesse favorise l'accumulation locale des polluants [9].

Le climat de la région est caractérisé par les vents de dominance nord-ouest, de manière continue du printemps à l'automne. La hauteur de mélange moyenne est estimée à 1112 m. Pendant cette année 110 journées sont affectées par des précipitations (666 mm), ce qui permet le lessivage des polluants qui se trouvent dans l'air.

Le suivi analytique a permis d'évaluer sur une année hydrologique (2008/2009), la quantité des retombées atmosphériques apportées au sol par l'eau de pluie (tableau 04).

Tableau 04 - Quantités des retombées atmosphériques humides de certains éléments (kg/an/ha)

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
12.68	58.51	216.34	114.59	741.18	1153.63	941.92
Ba	La	Li	Mn	Ni	Sr	Zn
0.10	0.00	0.08	0.24	0.00	4.06	2.60
As	Cd	Pb	Se	Tl		

0.08	0.00	0.16	0.56	0.81
------	------	------	------	------

Les résultats obtenus ont permis de montrer l'importance des retombées atmosphériques des éléments Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- et SO_4^{2-} dans l'eau de pluie. Alors que l'ordre des dépôts humides des éléments en traces est le suivant :

$$\text{Tl} > \text{Se} > \text{Sr} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Pb} > \text{Li}$$

Ce constat montre une véritable pollution atmosphérique générée dans la région, avec un secteur industriel qui a la plus grande contribution. On note qu'actuellement, il n'existe pas de réglementation imposant des valeurs limites pour les retombées atmosphériques.

4. CONCLUSION

La wilaya de Annaba est une ville côtière située à l'extrême Nord Est Algérien et est caractérisée par une activité industrielle importante.

Les eaux de pluie de la région sont fortement minéralisées. Le pH est à tendance acide de 5.3 en moyenne. La formule ionique des eaux de précipitations fait apparaître un faciès chloruré calcique, les ions les plus abondants sont les ions Ca^{2+} et Cl^- . Les concentrations moyennes pondérées des éléments en traces (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Fe, Li, Mo, Tl et V) oscillent entre 0 $\mu\text{g/l}$ (Cd, Ni et La) et 68 $\mu\text{g/l}$ (Ba).

Les dépôts de retombées atmosphériques sont importants pour les Cl^- , HCO_3^- et SO_4^{2-} pour les éléments majeurs et Sr, Zn, Pb, Se et Tl pour les éléments en traces.

Cette première approche de caractérisation des eaux de pluie de la région de Annaba permet d'en tirer quelques enseignements quant à son ampleur. Il serait toutefois intéressant d'effectuer des études précises pour attribuer à chaque source de pollution ces éléments rejetés, ainsi que de quantifier les retombées atmosphériques durant les périodes secs

BIBLIOGRAPHIES

- [1] K. Deboudt et P. Flament, Solubilité des éléments traces métalliques atmosphériques dans l'eau. Revue Air Pur N° 78. 2 (2008) 11 – 15.
- [2] N. Zenati, Relation nappe – lac. Confirmation par l'hydrochimie. Cas de la nappe superficielle de la plaine Ouest d'El Hadjar – Lac Fetzara. Nord-Est Algérien. Mémoire de magister, université Badji Mokhtar Annaba, 1999.
- [3] Anonyme, Etude agropédologique de la plaine d'El Hadjar (B.N.E.D.E.R), 1997.
- [4] N.Zenati, Pollution de l'environnement aquatique : diagnostic et proposition. Région de Annaba. Thèse de doctorat, université Badji Mokhtar Annaba, 2010.
- [5] F. Dubreucq, Le chimisme des eaux la cuisanse en amont d'Arbois (Jura). Influence du karst, des sols et des activités humaines. Doc. Univ. Besançon, Sci. Terre, 1987.
- [6] M. Meybeck, Atmospheric inputs and river transport of dissolved substances. In : "dissolved loads of rivers and surface water quality/ quantity relationships" . proceedings of the Hambury symposium. IAHS publ. 141 (1983)173 – 191.
- [7] M.Haubert, Importance des apports atmosphériques dans le bilan hydrodynamique d'un bassin versant de moyenne montagne. Arch.Sci. Genève, Vol. 29(1976) 183-197.

[8] J.CH Fontes and F.Gasse, PALHYDAF (Palaeohydrology in Africa), program: objectives, methods, major results. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Elsevier science publishers B. V., Amsterdam. (1991) 191 - 215.

[9] N. Diaf et al, Paramètres influençant la dispersion des polluants gazeux. Revue énergie renouvelable, ICPWE. (2003) 139 - 142.