

EFFET DU CUIVRE, ZINC ET CADMIUM SUR L'ACTIVITE METABOLIQUE DE CHLORELLA VULGARIS, LEMNA MINOR ET PHRAGMITES COMMUNIS

Reçu le 04/10/2009 – Accepté le 16/05/2011

Résumé

Les pollutions urbaine, industrielle et agricole sont les causes de la pollution aquatique, par le rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques. Cette pollution peut avoir des conséquences sur la santé de l'homme soit par l'ingestion directe des végétaux et animaux contaminés soit par consommation de l'eau. Les micropolluants les plus importants sont les métaux lourds (Cu, Zn, Cd, Cr, Pb, Ni, et le Hg), sont le plus fréquemment rencontrés. Certains végétaux sont connus pour leur rôle: Epurateur (les phragmites pour le chrome); accumulateur (la lentille d'eau *Lemna minor* pour le Cadmium, et le Cuivre) et indicateur (l'algue *Chlorélla vulgaris* pour le Cadmium). La toxicité par les métaux lourds se manifeste par une perturbation au niveau du système métabolique des végétaux conduisant à des troubles au niveau des fonctions physiologiques. Différentes analyses telles que le dosage des métaux lourds (Cd, Cu et Zn), chlorophylles, acides aminés et protéines ont été effectuées sur trois végétaux : une algue (*Chlorélla vulgaris*), une lentille d'eau (*Lemna minor*) et un roseau (*Phragmites communis*) prélevés dans différentes stations situées dans la région de Oued El Athmania, le long des cours d'eau ou sont déversés plusieurs rejets d'eaux usées domestiques et industrielles. Cette étude a été menée dans le but, d'une part, de mettre en évidence l'importance du rôle de certains végétaux comme bio indicateurs de la dégradation du milieu environnant par la présence de rejets polluants, et d'autre part, de voir l'effet de toxicité de ces polluants sur les fonctions vitales de ces végétaux.

Mots Clés : Pollution Hydrique, traces de Métaux, Bio indicateurs, *Chlorélla vulgaris*, *Lemna minor*, *Phragmites communis*.

Abstract

The urban pollution, industrial and agriculture are the leading causes of water pollution, by rejecting many organic and inorganic pollutants. This pollution may have an impact on human health or by direct ingestion of plants and animals or contaminated water consumption. The micro pollutants are the most important heavy metals (Cu, Zn, Cd, Cr, Pb, Ni, and Hg), are most frequently encountered. Some plants are known for their role: Epurateur (phragmites for Chrome); accumulator (Duckweed *Lemna minor* for Cadmium and copper) and Indicator (seaweed *Chlorélla vulgaris* for Cadmium). The toxicity of heavy metals is manifested by a disruption at the system level plant metabolic disorders leading to the level of physiological functions. Different tests such as the determination of heavy metals (Cd, Cu and Zn), chlorophyll, amino acids and proteins were carried out on three plants: an alga (*Chlorélla vulgaris*), a lens of water (*Lemna minor*) and a reed (*Phragmites communis*) taken from different stations in the region of Wadi El Athmania along the rivers or spilled several discharges of sewage and industrial applications. This study was conducted in order, firstly, to highlight the important role of certain plants as bio indicators of the degradation of environment by the presence of polluting discharges, and on the other hand, see the toxicity effect of these pollutants on the vital functions of these plants.

Keywords: Pollution Hydrique, Heavy Metals, Bio indicators, *Chlorélla vulgaris*, *Lemna minor*, *Phragmites communis*

S. ZAÏMECHE¹
C. RAHMOUNE¹
B. WATHELET²

¹ Ecotoxicologie et Stress Abiotique, Dépt Biologie et Ecologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mentouri Constantine, Algérie.

² Chimie Biologique Industrielle, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques Gembloux, Belgique.

ملخص

التلوث الحضري، الزراعي والصناعي من أهم أسباب تلوث المياه. وهذا التلوث قد يؤثر على صحة الإنسان سواء من خلال تناول المباشرة للنباتات والحيوانات أو استهلاك المياه الملوثة. ومن أهم الملوثات المعادن الثقيلة (النحاس، الزنك، الكروم، الكاديوم، الرصاص، الزئبق...). أن بعض النباتات لها دور هام في تنقية المياه من هذه الملوثات كالفصيص *Phragmites communis* للكروم، عدسة الماء *Lemna minor* للكاديوم والنحاس و الطحلب الأخضر *Chlorélla sp* للكاديوم. سمية المعادن الثقيلة تتجلى عند هذه النباتات بظهور أعراض كاضطرابات في نظام التمثيل الغذائي مما يؤدي إلى اضطرابات في الوظائف الفسيولوجية.

اختبارات مختلفة أجريت على هذه النباتات التي جمعت من مختلف المحطات في منطقة وادي العثمانية على طول الوديان أين تصب مياه الصرف الحضري والصناعي مثل قياس المعادن الثقيلة (الكاديوم، النحاس والزنك)، الكلوروفيل، الأحماض الأمينية والبروتينات. وقد أجريت هذه الدراسة من أجل ألا تسليط الضوء على أهمية بعض النباتات كمؤشرات بيولوجية عن تدهور البيئة وثانياً مدي تأثير الملوثات السامة على الوظائف الحيوية لهذه النباتات.

الكلمات المفتاحية : تلوث المياه، المعادن الثقيلة، المؤشرات البيولوجية، *Chlorella vulgaris*، *Lemna minor*، *Phragmites communis*

Les eaux courantes sont le milieu constamment modifié par l'homme. Les concentrations urbaines et le développement industriel ont conduit à utiliser ces eaux comme exutoire des déchets [1].

Un excès de matériaux organiques, ainsi que le rejet de certains composés chimiques et métaux ont pour conséquence une pollution toxique. Les micros polluants tels que les métaux lourds sont fréquemment rencontrés dans les effluents. Les végétaux (aquatiques et semi aquatiques) sont continuellement confrontés à ce stress dû à des taux élevés d'éléments métalliques très toxiques, tel que le Cadmium; également pour ceux qui sont indispensables (oligo éléments) tel que le Cuivre et le Zinc, lorsqu'ils sont absorbés par la plante à des concentrations endocellulaires dépassant un certain seuil.

Actuellement plusieurs végétaux sont utilisés comme bio indicateurs de la pollution des écosystèmes [2] [3]. En plus, certains végétaux sont connus pour leur rôle épurateur [4].

L'action des polluants sur les algues, et les macrophytes est différente, les phragmites par exemple peuvent accumuler des quantités importantes de Chrome [5], la lentille d'eau (*Lemna minor*) est un accumulateur de Cadmium, sélénium et Cuivre [6], l'algue verte (*Chlorélla vulgaris*) est un indicateur de la pollution par le Cadmium et le Zinc [7].

Dans l'environnement l'association du Cadmium et Zinc et leur assimilation peuvent entraîner des interactions entre ces deux ions [8]. Aussi Le Cadmium est toxique à de faible concentration inférieure à celle du Zinc [9].

MATERIEL ET METHODES

Différentes analyses ont été effectuées sur trois végétaux, une algue verte (*Chlorélla vulgaris*), une lentille d'eau (*lemna minor*) et un roseau (*Phragmites communis*) prélevés dans huit stations (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 et S8) situées dans la région de Oued El Athmania le long des cours d'eau ou sont déversés plusieurs rejets d'eaux usées.

1-Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau.

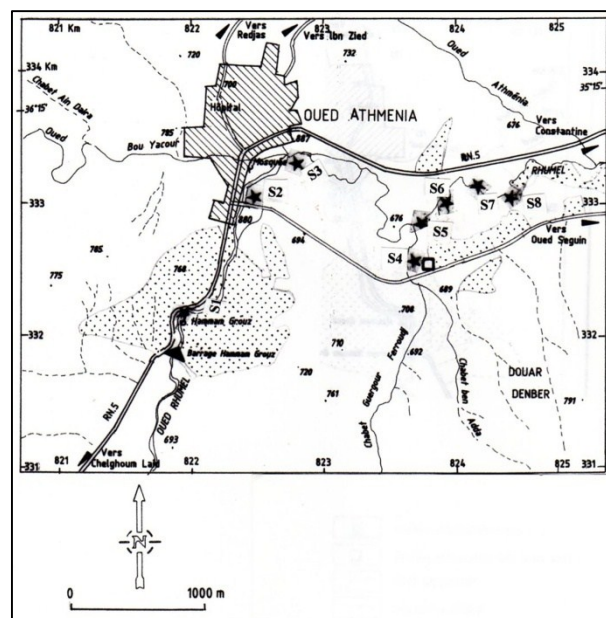
La température (°C), pH (en unité de PH), turbidité de l'eau (NTU) et conductivité électrique en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ont été réalisés dans chaque point de prélèvement.

2-Dosages et mesures réalisés au laboratoire

- Mesure de l'oxygène dissous mgO_2/l [10].
- Dosages des métaux lourds [11] [12]
- Mesure des paramètres biochimiques :
- Taux des chlorophylles a et b [13]
- Acides aminés [14]
- Protéines [14]

3- Analyse statistique

Des tests sont effectués afin de mettre en évidence l'effet de toxicité des métaux traces Cuivre, Zinc et Cadmium et leur interaction sur l'évolution de l'activité photosynthétique et biochimique des trois espèces considérées dans cette étude.



Cartel 1 : Localisation des stations d'échantillonnages

RESULTATS

Les résultats des différentes variables sont rapportés sur le tableau suivant :

Tableau 1. Résultats des caractères physico-chimiques et concentration en métaux traces Cu, Zn et Cd dans les huit plans d'eau.

Var		Moyenne	Minumum	Maximum	σ
T°	°C	20,37	19	26	2,97
pH		8,36	7,92	8,55	0,18
CE	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1123,25	980	1953	335,61
T	NTU	30,43	8,41	88,37	34,36
OD	mg/l	3,5	2,92	4,10	0,49
Cu	$\mu\text{g}/\text{l}$	7,93	7,8	8,2	0,16
Zn	$\mu\text{g}/\text{l}$	93,75	41	180	49,25
Cd	$\mu\text{g}/\text{l}$	7,28	7,2	7,7	0,17

T° : Température, CE : Conductivité Electrique, T : Turbidité, OD : Oxygène dissous

Les valeurs moyennes et écart-types des caractères physico-chimiques synthétisés dans le tableau 1. montrent que tous les cours d'eau sont d'un pH basique avec une légère variation d'une saturation à une autre ($8,36 \pm 0,18$).

Une concentration moyenne en oxygène dissous ($3,5 \pm 0,49 \text{ mg}/\text{L}$). La température est conforme aux normes ($20 \pm 2,97$) à l'exception de la station S1 ou la température de l'eau est de 26°C (présence de source thermique). Une

conductivité électrique élevée ($1123,25 \pm 335,61$) μ S/cm, ainsi que la turbidité ($30,43 \pm 34,36$) NTU.

Concentration en métaux traces dans les huit plans d'eau

Les résultats (Fig.1) montrent que Les valeurs moyennes varient d'une manière faible pour le Cuivre ($7,93 \pm 0,16$), Cd ($7,28 \pm 0,17$), par contre les concentrations du Zinc diffèrent de l'amont vers l'aval ($93,75 \pm 49,25 \mu$ g/L)

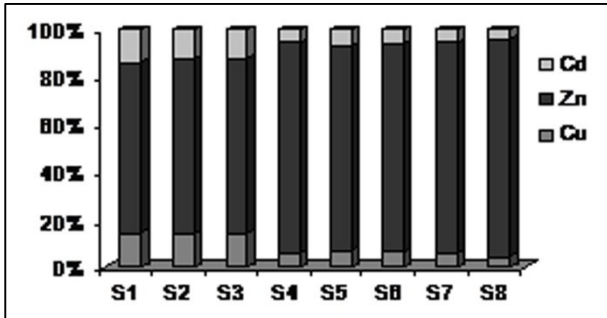


Figure 1 : Concentrations en métaux traces (μ g.g⁻¹) dans les huit stations

Les matrices de corrélation entre ces différents paramètres sont significativement marquées à $p < ,05$. De fortes corrélations positives et négatives existent entre les différentes variables :

-Corrélations positives entre conductivité électrique, Cuivre, Cadmium et température ($r > 0,87, 0,78$ et $0,93$), entre Cuivre et Cadmium ($r > 0,80$), turbidité et Zinc ($r > 0,73$).

-Corrélation négatives entre: le pH et la conductivité électrique ($r > -0,94$), la turbidité et l'oxygène dissous ($r > -0,75$), le Zinc et le Cuivre ($r > -0,74$).

Evaluation de la contamination des trois espèces par les métaux traces Cuivre, Zinc et Cadmium.

Les résultats des valeurs moyennes et écart type (Fig. 2) de la bioaccumulation des métaux traces Cuivre, Zinc et Cadmium (μ g/g) par l'algue verte *Chlorélla vulgaris*, la lentille d'eau *Lemna minor* et le roseau *Phragmites communis* montrent que :

- Pour *Chlorélla vulgaris* la valeur moyenne en Cuivre est de ($1,12 \pm 0,025$), en Zinc ($3,51 \pm 0,85$) et en Cadmium ($0,97 \pm 0,02$).
- Pour *Lemna minor* la valeur moyenne en Cuivre est de ($7,13 \pm 2,02$), en Zinc ($19,59 \pm 2,7$) et en Cadmium ($3,35 \pm 0,02$).
- Pour *Phragmites communis* la valeur moyenne en Cuivre dans la partie aérienne est de ($14,20 \pm 3$), en

Zinc ($46,32 \pm 8,06$) et en Cadmium ($1,08 \pm 0,06$). Et dans la partie souterraine la valeur moyenne est de ($15,15 \pm 2,22$) pour le Cuivre et ($71,81 \pm 10,33$) pour le Zinc et ($7,45 \pm 0,63$) pour le Cadmium.

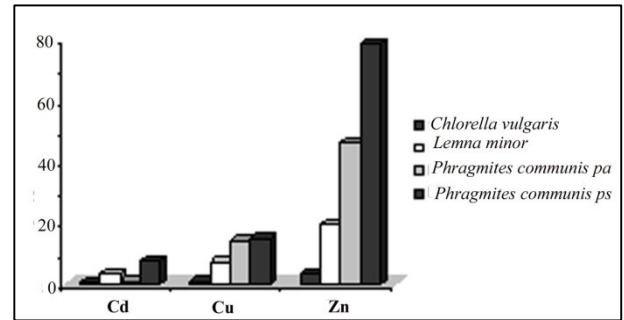
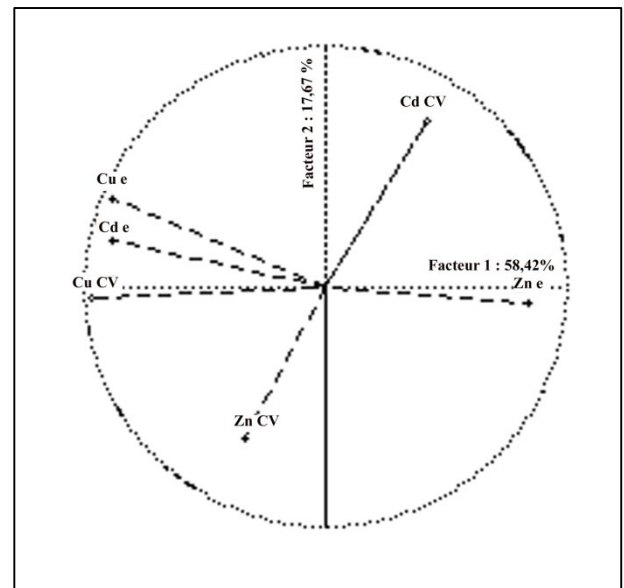


Figure 2 : Teneurs en métaux traces dans les trois espèces.

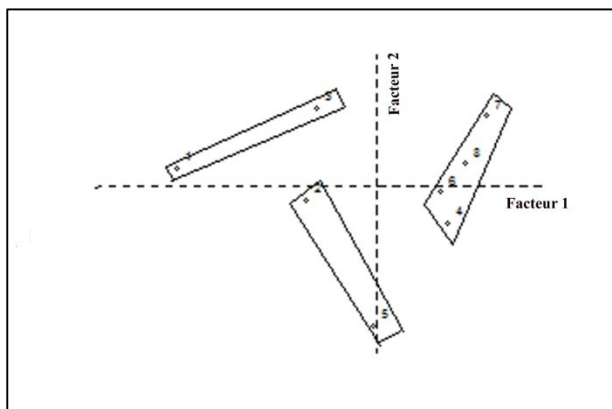
Une analyse en composantes principales a été effectuée pour chacune des espèces étudiées. Pour *Chlorélla vulgaris* les résultats révèlent (graphe 1a) une part de variabilité défini par l'axe 1 et l'axe 2 de 58,42 % et 17,67 ; soit un total de 76,15 %. Toutes les variables sont bien représentées sur le plan 1-2 à l'exception de la teneur en Zinc (CV). L'axe 1 est défini par la variable concentration du Zinc dans l'eau dans sa partie positive et par les variables concentration du Cuivre, Cadmium dans l'eau et teneurs en Cuivre (CV) dans sa partie négative. L'axe 2 est formé par les variables : teneur en Cadmium dans (CV) dans sa partie positive et teneur en Zinc (CV) dans sa partie négative.



Grappe 1a : Cercle de corrélation de Cuivre, Zinc et Cadmium dans *Chlorélla vulgaris* dans les sites de prélèvement

La représentation des individus sur le plan factoriel 1-2 met en évidence trois groupes d'individus (Grappe 1b). Le premier groupe représenté par les individus CV4, CV6 CV8 et CV7 caractérisé par des teneurs élevées en Cadmium moyenne en Zinc et faible en Cuivre. Le deuxième groupe représenté par les individus CV2 et CV5

caractérisé par des teneurs élevées en Zinc, moyenne en Cuivre, et faible en Cadmium. Le troisième groupe représenté par les individus CV1 et CV3 caractérisé par des teneurs élevées en Cuivre moyenne en Zinc et Cadmium.



Graph 1b : Représentation des individus sur le plan 1-2

Pour *Lemna minor* (Graph 2a) la part de variabilité montrée par les axes 1 et 2 est respectivement de 51,58 % et 25,07 % soit un total de 76,65% toutes les variables sont bien présentées sur le plan factoriel 1-2 à part les deux variables concentration du Cadmium dans l'eau et teneur en Zinc (LM).

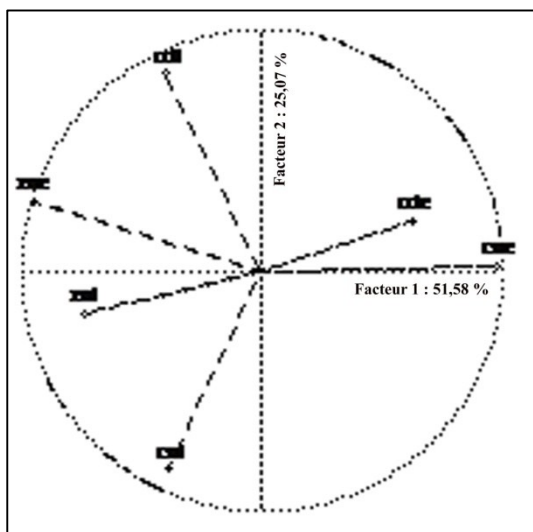
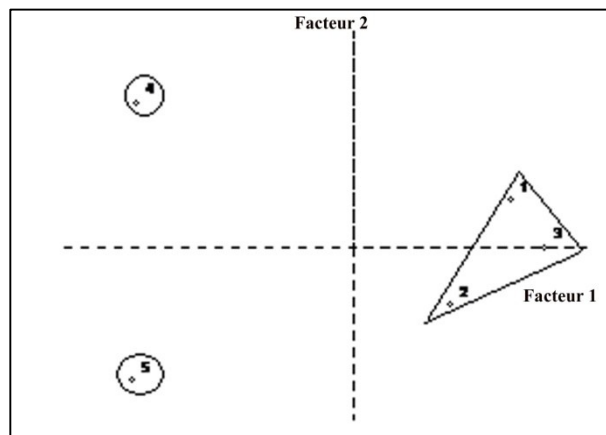


Figure 2a : Cercle de corrélation de Cuivre, Zinc et Cadmium dans *Lemna minor* dans les sites de prélèvement

Axe 1 est représenté dans sa partie positive par les variables concentration Cadmium, Cuivre (eau) et par les variables concentration Zinc (eau) et la teneur en Zinc (LM) dans sa partie négative. L'axe 2 est représenté par les variables teneur en Cadmium (LM) dans sa partie positive et teneur en Cuivre (LM) dans sa partie négative.

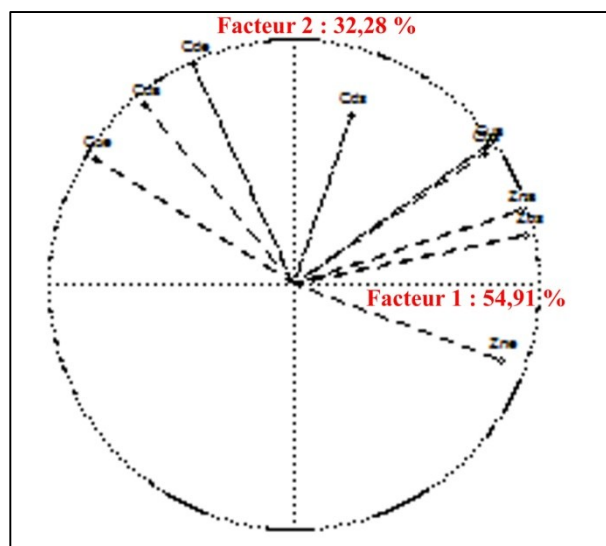
La représentation des individus sur le plan factoriel (1-2) démontre trois groupes d'individus (Fig. 2b). Le premier

groupe représenté par l'individu LM5 caractérisé par des teneurs élevées en Cuivre, Zinc et faible en Cadmium. Le deuxième groupe formé par l'individu LM4 caractérisé par un taux élevé en Cadmium, moyen en Zinc et faible en Cuivre. Le troisième groupe représenté par les individus LM1, LM2, LM3 caractérisé par un taux moyen en ces trois métaux traces.



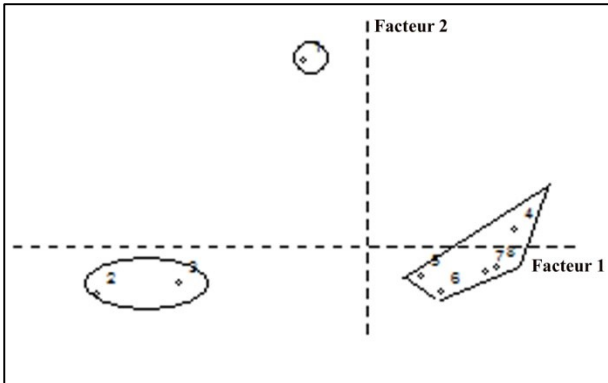
Graph 2b : Représentation des individus sur le plan 1-2

Pour *Phragmites communis* (Graph 3a) le pourcentage d'énergie des deux axes 1- 2 est de 86,19% (54,91 et 32,28%). Toutes les variables sont bien présentées sur le plan factoriel 1-2 à part la variable Cadmium (partie souterraine). L'axe 1 est défini dans sa partie positive par les variables Cuivre et Zinc (partie aérienne et souterraine) et dans sa partie négative par la concentration du Zinc et Cuivre dans l'eau. L'axe 2 est défini dans sa partie positive par les variables Cadmium (partie aérienne et souterraine), et la concentration du Cadmium dans l'eau alors qu'aucune Variable ne représente sa partie négative.



Graph 3a : Cercle de corrélation de Cuivre, Zinc et Cadmium dans *Phragmites communis* dans les sites de prélèvement

La représentation des individus sur le plan 1-2 est caractérisée par la présence de trois groupes d'individus (Graphe 3b). Le premier groupe représenté par les individus PC4, PC5, PC6, PC7 et PC8 caractérisé par des teneurs élevées en Cuivre, Zinc (dans la partie aérienne et souterraine) et moyenne en Cadmium (partie souterraine). Le deuxième groupe représenté par l'individu PC1 caractérisé par un taux élevé en Cadmium et moyenne en Zinc et Cuivre. Le troisième groupe représenté par les individus PC2 et PC3 caractérisé par des teneurs faibles en ces trois métaux traces.



Graph 3b : Représentation des individus sur le plan factoriel 1-2

Résultats des paramètres physiologique et biochimique

Les résultats des valeurs moyennes de l'activité métabolique et photosynthétique varient d'une espèce à l'autre (Fig.3).

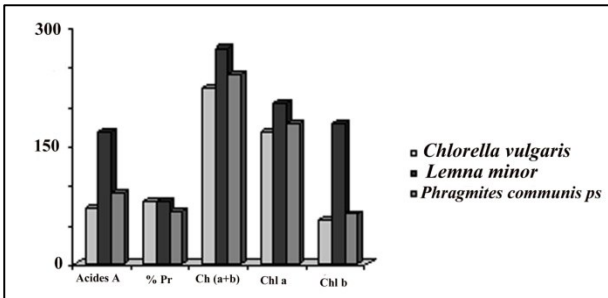


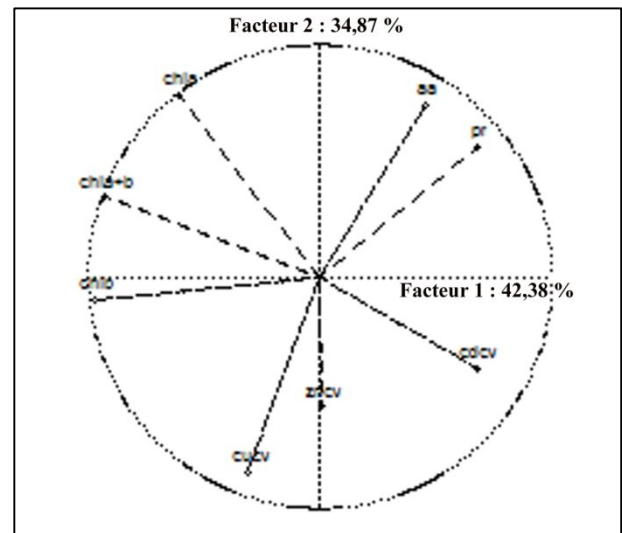
Figure 3 : Valeurs moyennes en acides aminés, protéines, chlorophylle (a+b), chlorophylle a et chlorophylle b.

- *Lemna minor* a les valeurs moyennes et écart-types les plus élevées, avec $167 \pm 35,16$ mg/g en acides aminés, $79,46 \pm 1,49$ % en protéines, $271,81 \pm 77,60$ µg/g en chlorophylle totale (a+b), $202 \pm 43,38$ µg/g en chlorophylle a, et $69,38 \pm 34,41$ µg/g en chlorophylle b.
- Pour *Phragmites communis* les valeurs sont de $89,98 \pm 30,36$ mg/g en acides aminés, $66,75 \pm 6,93$ % en protéines, $238 \pm 14,28$ µg/g en chlorophylle totale (a+b), $176,19 \pm 12,04$ µg/g en chlorophylle a et $63,23 \pm 10,41$ µg/g en chlorophylle b.

- Pour *Chlorella vulgaris* les valeurs sont de $69,81 \pm 27,5$ mg/g en acides aminés, $77,85 \pm 22,3$ % en protéines, $222,11 \pm 24,31$ µg/g en chlorophylle totale (a+b), $166,22 \pm 12,58$ µg/g en chlorophylle a et $55,83 \pm 15,34$ µg/g en chlorophylle b.

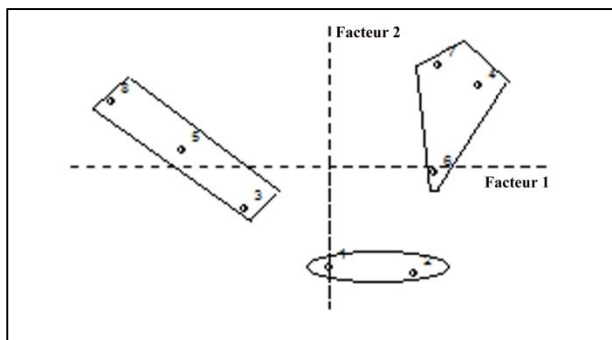
Une analyse en composante principale a été réalisée pour mettre en évidence le degré de variabilité physiologique et biochimique des espèces étudiées.

Pour *Chlorella vulgaris* le pourcentage d'énergie du plan 1- 2 est de 77,25% (42,38 et 34,87%). Toutes les variables sont présentées sur le plan 1-2 à l'exception de la variable teneur en Zinc (CV) (Graphe 4a). L'axe 1 est représenté dans sa partie positive par les variables %de protéines et teneur en Cadmium et dans sa partie négative par les variables chlorophylle totale (a+b), chlorophylle a et b. L'axe 2 est défini dans sa partie positive par la variable acide aminée et dans sa partie négative par la variable teneur en Cuivre et Zinc.



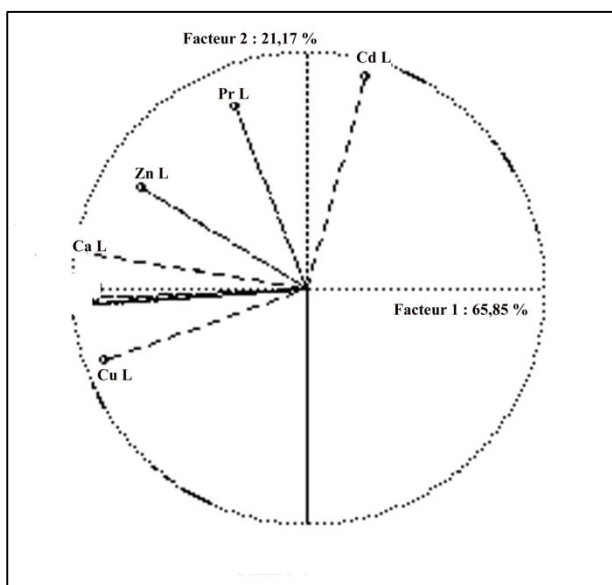
Graph 4a : Cercle de corrélation des paramètres physiologiques et biochimiques de *Chlorella vulgaris*

La représentation des individus sur le plan factoriel 1-2 met en évidence trois groupes d'individus (Graphe 4b). Le premier groupe représenté par les individus Cv4, Cv6 et Cv7 caractérisé par des teneurs élevées en acides aminés, pourcentage de protéines, Cadmium et moyennes en Cuivre, Zinc, faible en chlorophylle totale (a+b), chlorophylle a et b. Le deuxième groupe représenté par les individus Cv1 et Cv2 caractérisé par des teneurs élevées en Cuivre, Zinc et Cadmium et moyennes en acides aminés, pourcentage de protéines et faible en chlorophylle totale (a+b), chlorophylle a et b. Le troisième groupe représenté par les individus Cv3 et Cv5 et Cv8 caractérisé par des teneurs élevées en chlorophylle totale (a+b), chlorophylle a et chlorophylle b et moyennes en Cuivre, Zinc, Cadmium, acides aminés, % de protéines.



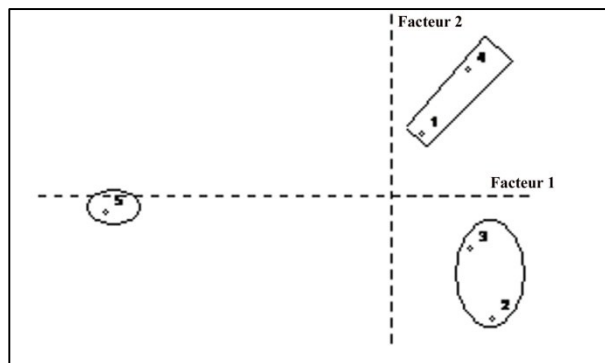
Graph 4b : Représentation des individus sur le plan factoriel 1-2

Pour *Lemna minor* la part de variabilité exprimé par l'axe 1-2 est respectivement de 65,85 % et 21,17% soit un total de 87,02% toutes les variables sont bien représentées sur le plan factoriel 1-2. L'axe1 est défini dans sa partie négative par les variables acides aminés, chlorophylle totale (a+b), chlorophylle a et b, Zinc et Cuivre mais aucune variable ne représente sa partie positive. L'axe2 est représenté dans sa partie positive par les variables pourcentage en protéines et teneur en Cadmium, aucune variable ne représente sa partie négative.



Graph 5a : Cercle de corrélation des paramètres Physiologiques et biochimiques de *Lemna minor*

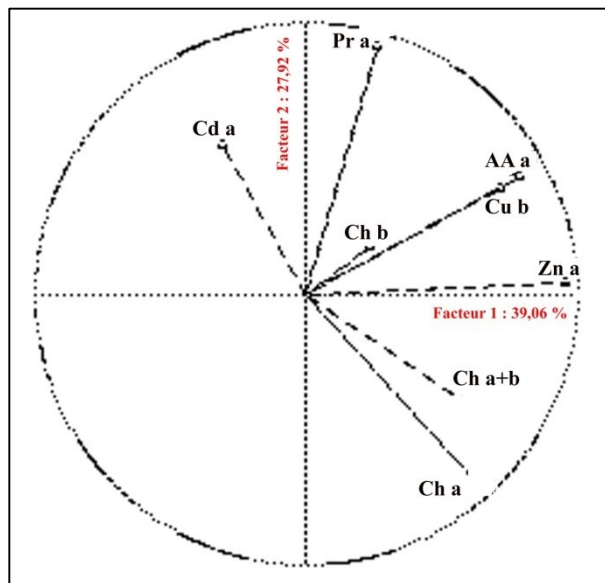
La représentation des individus sur le plan factoriel (1-2) est définie par trois groupes d'individus (Graph 5b). Le premier groupe représenté par les individus LM1 et LM4 qui ont une teneur élevée en Cadmium et moyenne pour les autres paramètres. Le deuxième groupe représenté par l'individu LM5 caractérisé par une teneur moyenne en Cadmium et élevée des autres paramètres. Le troisième groupe représenté par les individus LM2 et LM3 ont une teneur faible en ces différents paramètres.



Graph 5b : Représentation des individus sur le plan factoriel 1-2

Pour *Phragmites communis* la part de variabilité exprimée par l'axe 1-2 est de l'ordre de 39,06% et 27,92%, soit un total de 66,98% (Graph 6a).

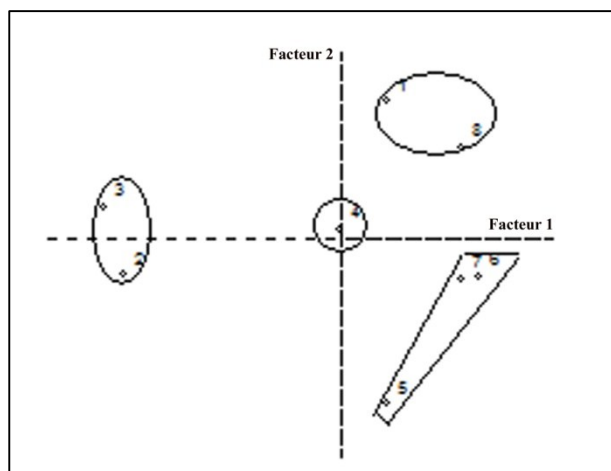
Toutes les variables sont bien représentées sur le plan factoriel 1-2 à l'exception des deux variables chlorophylle b et Cadmium partie aérienne. L'axe1 est représenté dans sa partie positive par les variables acides aminés, teneur en Zinc et Cuivre (partie aérienne), chlorophylle totale (a+b), chlorophylle a et b par contre aucune variable ne représente sa partie négative. L'axe2 est représenté dans sa partie positive par les variables %de protéines et Cadmium partie aérienne mais aucune variable ne définit sa partie négative.



Graph 6a : Cercle de corrélation des paramètres Physiologiques et biochimiques de *Phragmites communis*

La représentation des individus sur le plan factoriel 1-2 met en évidence quatre groupes d'individus (Graph 6b). Le premier groupe représenté par les individus PC1 et PC8 caractérisés par des teneurs élevées en acides aminés, %de protéines, Zinc et Cuivre et des teneurs moyenne en Cadmium, chlorophylle totale (a+b), chlorophylle a et b. Le deuxième groupe représenté par les individus PC5, PC6 et PC7 marquée par l'élévation de chlorophylle totale (a+b), chlorophylle a et Zinc et des valeurs moyenne pour

les autres paramètres. Le troisième groupe représenté par les individus PC2 et PC3 a une valeur faible en ces paramètres. Le quatrième groupe représenté par l'individu PC4 caractérisé par des valeurs intermédiaires en ces paramètres.



Graphique 6b : Représentation des individus sur le plan factoriel 1-2

DISCUSSION

Les résultats obtenus sont influencés par divers facteurs qui englobent les conditions du milieu environnant, l'espèce végétale et la nature des effluents.

Ainsi le degré de concentration en métaux traces Cuivre, Zinc et Cadmium dans les huit plans d'eau est supérieur à la concentration nominale même pour la station S1 située en amont de la ville, cette contamination pourrait être liée au système de dragage du barrage [15] [16] [17].

Aussi la bioaccumulation de ces métaux traces par ces espèces végétales est démontrée par l'altération de l'activité photosynthétique et biochimique.

Inhibition de la chlorophylle de *Chlorella vulgaris* par l'effet toxique du Cuivre, Zinc et surtout du Cadmium sur la chlorophylle a [18] [19].

Pour *Lemna minor* et *Phragmites communis* cette inhibition est due à la présence du Cadmium [20] [21].

Cet effet est également observé sur la synthèse des acides aminés et protéines.

Pour *Chlorella vulgaris* interaction du Cadmium avec les protéines, et le Cuivre par son inhibition des acides aminés [22].

Interaction du Cadmium Pour *Lemna minor* et du Cuivre pour *Phragmites communis* avec les protéines [23].

Par contre il est important de remarquer que le Cuivre et le Zinc ont stimulés le processus métabolique des acides aminés de *Lemna minor* et de *Phragmites communis* (partie aérienne) [24].

Ainsi, ces espèces végétales ont montrée leur capacité à absorber les métaux traces en particulier *Chlorella vulgaris* pour le Cuivre, *Lemna minor* pour le Zinc et *Phragmites communis* pour le Zinc (parties aérienne et souterraine) et le Cadmium (parties aérienne).

De plus, l'assimilation de ces polluants n'est pas sans effet drastique sur leur métabolisme par l'altération de l'activité photosynthétique et biochimique.

L'algue *Chlorella vulgaris* (premier maillon de la chaîne trophique) a montré sa sensibilité aux trois métaux traces.

La lentille d'eau *Lemna minor* beaucoup plus au Cadmium mais elle semble moins résistante aux conditions du milieu environnant (disparition de l'espèce dans les trois dernières stations).

L'effet du stress observé sur *Phragmites communis* est dû beaucoup plus à l'effet toxique du Cadmium.

REFERENCES

- [1]- Angelier, E., 2000. Ecologie des eaux courantes. Ed. TEC&DOC. Paris.
- [2]- Rahmoune C., 1999. Capability of reed (*Phragmites communis*) to reduce chromic pollution of water. 3rd I international symposium <<Irrigation of horticultural crops>>, 28 Jun. 02 Jul. Estoril (Portugal).
- [3]- Lytle S. J., Lytle F.T., 2001. Use of plants for toxicity assessment of estuarine ecosystems. Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 20, N°1. pp. 68-83.
- [4]- Williams J. M., Bahgat M., May M., Ford M., Butler J., 1994. The removal pathogenic micro organisms during sewage treatment in gravel bed hydroponics constructed wetlands. In proceedings of a conference on wetlands systems for water pollution control, IAWQ. Guangzhou. pp. 200-209.
- [5]- Zayed A., Gowthaman S., Terry, N., 1998. Phyto accumulation of trace elements by wetland plants I. Duckweed J. Environ. Qual. 27:715-721.
- [6]- Kaplan D., Heimer y. M., Abeliovich A., Golds brough P.B., 1995. Cadmium toxicity and resistance in *Chlorella* sp. Plant Sci. 109:129-137.
- [7]- McKenna I. M., Chaney L. R., Williams M. F., 1993. The effect of Cadmium and Zinc interactions on the accumulation and tissue distribution of Zinc and Cadmium in Lettuce and Spinach. Environ. Pollut. 79: 113-120.
- [8]- Rahmoune C., Seridi R., Paul R and Dreze P., 2000. Influence of Zn Concentration in Solution Applied to Leaves and Roots on the Absorption and Translocation of Cd by leaves. Agricultural Sciences, 27 (1): 72-77.
- [9]- Das P., Samantaray S., Rout G. R., 1997. Studies on Cadmium toxicity in plants: A review Environmental pollution. Vol. 98, N°1, pp. 29-36.

- [10]- Rodier J., (1984). L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer 7^e édition, Dunod, paris, 1365p.
- [11]- Perkin, E., 1971. Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry, Norwalk
- [12]- Spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme. Modèle (SAA. Perkin E. 110 OB)
- [13]- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: poly phenol oxydase In *Beta vulgaris*. Plant Physiol, 24: 1-15.
- [14]- Commission Directive 98/64/EC of 3 Septembre 1998. Dosage des acides aminés. Official Journal of the European communities L 257, 14-28
- [15]- INERIS-DRC-02-25590-02DF54. Version N°1-5-fevrier 05.
- [16]- Environnemental health criteria., 221 (Zinc) (World health organisation). Geneva 2001.
- [17]- INERIS-DRC-01-25590-00DF249. doc. Version N°2-3 fevrier 05.
- [18]- Natasha M. F., Stauber J. L., Lim R. P., 2000. Development of flow cytometry-based algal bioassays for assessing toxicity of copper in natural waters. Environmental toxicology and chemistry, vol. 20, N°1, pp. 160-170.
- [19]- De Fillipis, L. F., Ziegler, H., 1993. Effect of sublethal concentrations of Zn, Cd and Hg on photosynthetic carbon reduction cycle of *Euglena*. Plant Physiol. 42: 167-172.
- [20]- Somashekaraiah B. V., Padmaja K., Prasad A. R. K., 1992. Phytotoxicity of Cadmium ions on germinating seedlings of mung bean (*Phaseolus vulgaris*): involvement of lipid peroxides in chlorophyll degradation. Physiologia Plantarum 85: 85-89. Copenhagen.
- [21]- Fargasova A., 2001. Phytotoxic effects of Cd, Zn, Cu and Fe on *Sinapis alba* L. seedlings and their accumulation in roots and shoots. Biologia Plantarum 44 (33): 471-473.
- [22]- Omar H.H., 2002. Adsorption of Zn ions by *Scenedesmus obliquus* and *S. quadricauda* and its effects on growth and metabolism. Biologia Plantarum 45 (2): 261-266.
- [23]- Briat J. F., Lebrun M., 1999. Plant response to metal toxicity. Plant biology and pathologie. Life Sciences. 322. 43-64.
- [24]- Rai V. K., 2002. Role of amino acids in plant responses to stresses. Dept. of Biosciences, H.P. Univ. Shimla 171005, India.