

# Comportement des éléments traces métalliques dans l'agrosystème rizière du Gharb (Maroc)

Souad EL BLIDI<sup>1</sup>, Mohamed FEKHAOUI<sup>1</sup>, Amal SERGHINI<sup>1</sup>  
Abdellah EL ABIDI<sup>2</sup> & Larbi DRISSI<sup>2</sup>

1. Université Mohammed V-Agdal, Institut Scientifique, Département de Zoologie et Ecologie animale, Unité Pollution, Ecotoxicologie et Risques Sanitaires, B.P. 703 Agdal, Rabat. e-mail : [elblidisouad@yahoo.fr](mailto:elblidisouad@yahoo.fr)

2. Institut National d'Hygiène, Rue Ibn Battouta, Agdal, Rabat, Maroc.

**Résumé.** Les rizières de la plaine du Gharb (Maroc) ont fait l'objet d'une étude pluridisciplinaire qui a démontré la présence d'importantes teneurs en éléments traces métalliques en relation avec l'utilisation des eaux fortement contaminées du Sebou. Devant les difficultés de comprendre le processus de transfert et d'échange entre les différentes composantes de ce milieu, nous proposons un modèle statistique synthétisant l'ensemble des processus de contamination ayant lieu au niveau des différents compartiments de cet écosystème artificiel à savoir l'eau superficielle, le sédiment et les différentes parties du plant de riz (racines, tiges, feuilles et grains). Cette approche permet de mettre en évidence que les éléments traces métalliques (plomb, cuivre, zinc et chrome) s'accumulent préférentiellement au niveau des sédiments avec une tendance à l'absorption et à l'accumulation par le système racinaire de la plante de riz. Cependant, malgré la restriction d'accès par ce dernier, le reste de la plante montre une légère bioaccumulation ascendante de ces métaux.

**Mots-clés :** Maroc, rizières, plaine du Gharb, analyse en composantes principales, éléments traces métalliques.

**Behaviour of the metallic trace elements in the rice agricultural system of the Gharb (Morocco).**

**Abstract.** The rice fields of the Gharb plain (Morocco) were the subject of a multidisciplinary study that has demonstrated the presence of large contents of metallic trace elements in relation with the use of the highly contaminated waters of the Sebou river. In front of the difficulties to understand the process of transfer and exchange between the different components, we propose a statistical model of contamination synthesizing the whole processes taking place at the level of the different compartments of this artificial ecosystem in the surface waters, the sediment and the different parts of the rice plant (roots, stems, leaves and grains). This approach permits to evidence that the metallic trace elements (lead, copper, zinc and chromium) accumulate preferentially at the level of the sediments with a tendency to absorption and to accumulation by the radicular system of the rice plant. However, in spite of the access control by the latter, the rest of the plant, shows a slight ascending bioaccumulation of these metals.

**Keywords:** Morocco, rice fields, Gharb plain, principal component analysis, metallic trace elements.

## INTRODUCTION

Les rizières sont des agro-écosystèmes qui restent en eau durant la période culturale de fin avril à mi-septembre, et sont asséchées le restant de l'année.

Au Maroc, l'irrigation des rizières de la plaine du Gharb est assurée par pompage dans l'oued Sebou et son affluent l'oued Beht, milieux dont la qualité est fortement dégradée, notamment par de nombreux micropolluants (métaux lourds) et par une charge organique importante (Fekhaoui *et al.* 1993, Fekhaoui & Bennasser 1994, Bennasser 1997, Bennasser *et al.* 2000).

A cet apport exogène de substances minérales et organiques, s'ajoute un apport endogène dû à l'utilisation massive de produits phytosanitaires pour lutter contre le développement des champignons et des parasites.

Les travaux réalisés au niveau de ces zones humides artificielles (El Blidi 2005, El Blidi *et al.* 2006a, b) ont révélé une contamination importante de ce milieu par les éléments traces (plomb, cuivre et chrome) ; cependant, les mécanismes de transfert et du passage de ces éléments à travers les échanges eau / sédiment et sédiment / plante ayant lieu au niveau de cet écosystème restent peu connus et difficiles à mettre en évidence.

C'est dans cet objectif qu'une approche mathématique appropriée a été proposée afin de synthétiser l'ensemble des processus et d'établir une typologie spatio-temporelle de contamination et de distribution au sein de cet hydrosystème.

## MATERIEL ET METHODES

### Stations d'étude

Au Maroc, la superficie rizicole est d'environ 13 000 ha, situés principalement dans la plaine du Gharb (Fig. 1 A), en raison des conditions climatiques, pédologiques et hydriques favorables offertes par cette région (par ex. Kili *et al.* 2006).

Les rizières sont des milieux aquatiques temporaires estivaux de faible profondeur. Dans la plaine du Gharb, elles sont mises en eau à partir de fin avril et persistent pendant 4 à 5 mois.

Deux rizières ont fait l'objet de cette étude ; elles sont localisées dans la région de Sidi Allal Tazi, à 57 km de Kénitra (Fig. 1 B) et sont installées sur des *tirs* gris qui sont des sols d'origine alluvionnaire, argileux, pauvres en humus, en acide phosphorique et très souvent en azote. Leur pH est souvent alcalin (Anonyme 1974).

Deux points de prélèvement par rizière (Fig. 1 C) ont été fixés pour l'évaluation de la teneur de ces éléments métalliques (Pb, Cu, Zn et Cr). Les échantillons d'eau, de sédiment et de plants de riz ont été prélevés entre avril et septembre 1997 et entre mai et septembre 1998.

### Echantillonnage

Sur le terrain, les échantillons d'eau ont été mis dans des flacons en polyéthylène préalablement lavés dans des bains de savon, suivi de bains d'acide (HCl à 10%) puis finalement rincés plusieurs fois avec de l'eau distillée.

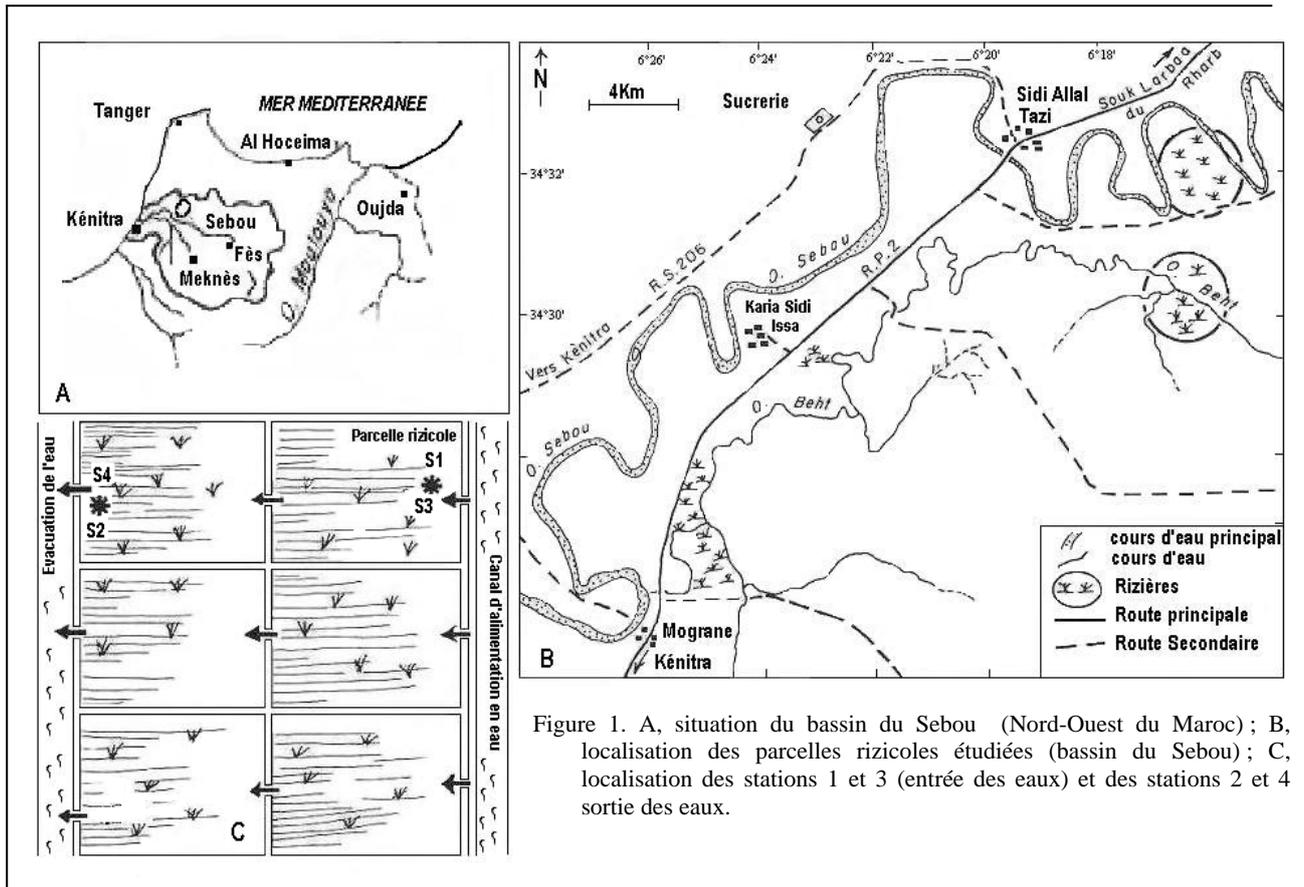


Figure 1. A, situation du bassin du Sebou (Nord-Ouest du Maroc); B, localisation des parcelles rizicoles étudiées (bassin du Sebou); C, localisation des stations 1 et 3 (entrée des eaux) et des stations 2 et 4 (sortie des eaux).

Les prélèvements ont été ensuite fixés avec 2% de  $\text{HNO}_3$ , puis transportés à basse température ( $4^\circ\text{C}$ ) jusqu'au laboratoire de toxicologie de l'Institut d'Hygiène à Rabat.

Les sédiments ont été prélevés en surface (à 5 cm d'épaisseur) à l'aide d'un outil non métallique et conservés dans des sacs en plastique propres et à basse température.

Les plants de riz ont été soigneusement lavés (essentiellement les racines) et mis dans des sacs en plastiques propres et conservés aussi à basse température.

### Techniques d'analyse

Les échantillons d'eau sont filtrés sur papier filtre Whatman millipore 40. Le filtrat est conservé à  $4^\circ\text{C}$  jusqu'à l'analyse des métaux.

Les sédiments sont séchés à l'étuve ( $105^\circ\text{C}$ ) pendant 24 heures puis broyés dans un mortier d'Agathe et homogénéisés.

Les plants de riz sont rincés préalablement avec l'eau de robinet, puis abondamment avec l'eau distillée. Les différentes parties (racines, tiges et feuilles) de la plante sont séparées, coupées en morceau puis séchées à l'étuve ( $105^\circ\text{C}$ ) pendant 24 heures. Elles sont ensuite broyées.

Les protocoles de digestion destinés à la préparation des échantillons pour le dosage des métaux (Pb, Cu, Zn et Cr) dans les sédiments et les plants de riz sont les suivants :

**Sédiment :** 0,2 g de sédiment sont pesés dans des bombes de Téflon de 30 ml. On y ajoute 1 ml du mélange acide chlorhydrique (30%) – acide nitrique (65%), 3/1 ; V/V et

6 ml d'acide fluorhydrique Norma pur. Les bombes sont fermées et maintenues à température ambiante pendant 24 heures pour une pré-digestion. Elles sont ensuite chauffées à  $120^\circ\text{C}$  pendant 4 heures dans un bain de sable thermostaté. Après refroidissement, le volume est complété à 50 ml par l'eau bidistillée dans des tubes de dilution contenant 2,7 g d'acide borique (Chiffolleau & Truquet 1994). Un blanc (témoin) est toujours préparé parallèlement aux échantillons à doser.

**Plants de riz :** 0,5 g d'échantillon sec est pesé dans des bombes de digestion en Téflon, dans chacune d'elles, on ajoute 4 ml d'acide nitrique (65%) supra pur avant de les fermer et de les maintenir à une température ambiante pendant 24 heures pour une pré digestion. Les bombes sont ensuite placées dans un bain de sable à  $120^\circ\text{C}$  jusqu'à ce que les solutions deviennent claires et limpides (en général au bout de 24 heures). Après refroidissement le contenu des bombes est transvasé dans des tubes de dilution de 50 ml et complété à 50 ml par l'eau bidistillée (Auger 1989).

Un blanc (témoin) est toujours préparé parallèlement.

Le dosage des métaux pour l'eau, les sédiments et les plants de riz est réalisé suivant la norme AFNOR N.F.T.90-112 par spectromètre à absorption atomique modèle VARIAN AA 20 en flamme pour le zinc et en four pour le plomb, le cuivre et le chrome.

La validité des méthodes analytiques a été vérifiée par contrôle interne à l'aide des échantillons standards (IOC 1993) et par contrôles externes à l'aide d'exercices d'intercalibration (Coquery & Horvat 1996).

**Organisation de la matrice des données**

Dans le but de synthétiser les résultats obtenus et de dégager les différentes tendances, corrélations et autres phénomènes intervenant dans l'accumulation des métaux et de dégager une structure typologique de cette contamination, nous avons réalisé une analyse en composante principale (ACP) à partir d'une matrice de donnée formée par les résultats obtenus au cours de la période d'étude (1997-1998). L'analyse a été réalisée avec le logiciel ADE (Dolédéc & Chessel 1993).

**RESULTATS ET DISCUSSION**

**Typologie de la contamination métallique au niveau de l'eau superficielle**

L'analyse est effectuée sur la matrice des données formée de 32 relevés (8 campagnes x 4 stations) au cours desquels 4 variables (Pb, Cu, Zn et Cr) ont été mesurées durant deux cycles rizicoles 1997 et 1998.

**Analyse du graphe de l'ACP**

Les valeurs propres des trois axes F1, F2 et F3 et leur contribution à l'inertie totale sont représentées dans le tableau I. Les codes des variables et leurs coordonnées selon les mêmes axes sont représentés dans le tableau II.

Les tableaux I et II permettent de dégager une première approche typologique des différentes variables selon leurs affinités et leur regroupement sur les deux premières

composantes principales à partir de leur contribution. Celles-ci déterminent 88,4% de l'information totale à raison d'une inertie de 40,2 ; 34,40 et 13,8 (Fig. 2 A) respectivement pour les axes factoriels 1, 2 et 3. Seul le plan 1 x 2 est pris en compte en décrivant les corrélations avec les variables comme suit :

- l'axe factoriel 1 prend en compte les deux variables plomb et cuivre.
- l'axe factoriel 2, se trouve corrélé au zinc et au chrome.

Tableau I. Taux d'inertie et valeurs propres des 3 premiers axes (eau).

Axes	Valeurs propres	Contribution à l'inertie totale (en %)	Contributionscumulées (en %)
F1	1,6	40,2	40,2
F2	1,37	34,4	74,6
F3	0,55	13,8	88,4

Tableau II. Codes de l'analyse en composantes principales et corrélations des variables avec les axes (eau).

Variables	Analyse en composantes principales	
	Axe 1	Axe 2
Pb	0,72	-0,42
Cu	0,86	-0,48
Zn	0,56	-0,67
Cr	-0,13	-0,86

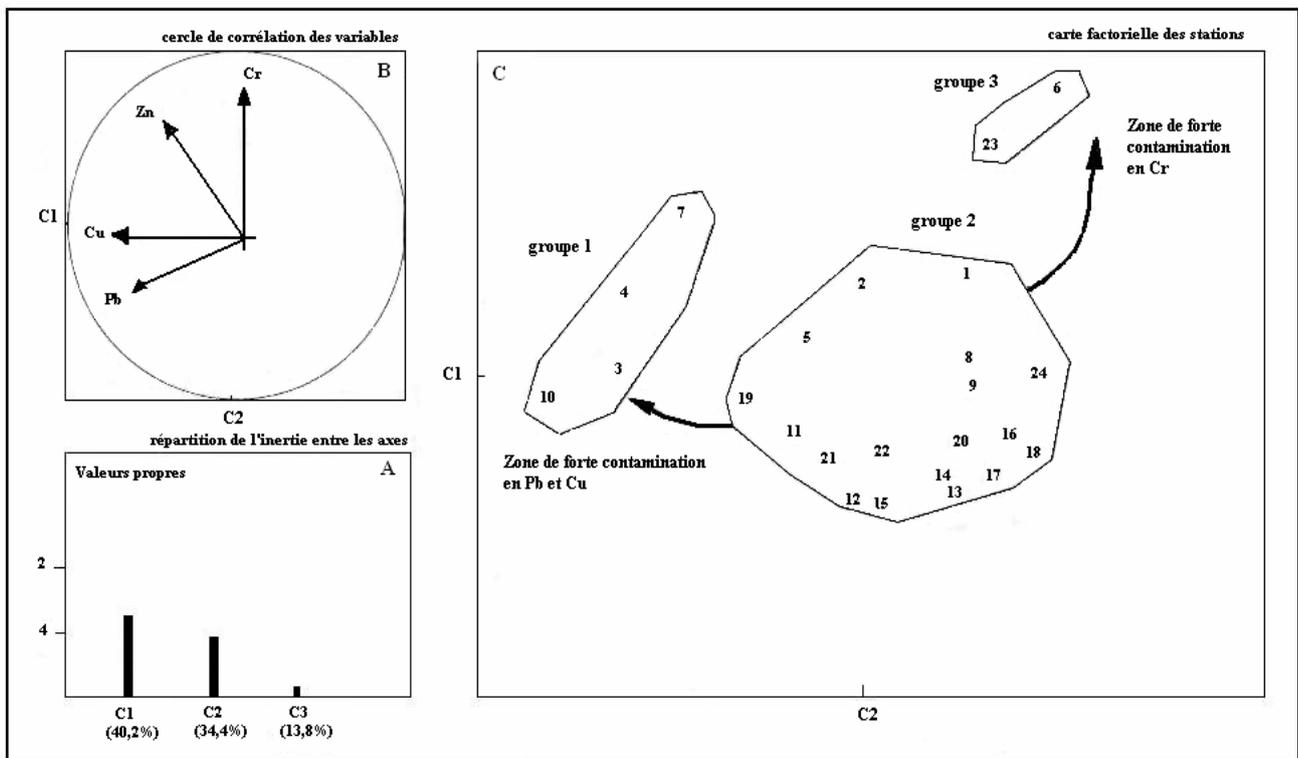


Figure 2. Approche graphique selon le plan 1x2 de l'ACP des métaux dans les eaux superficielles.

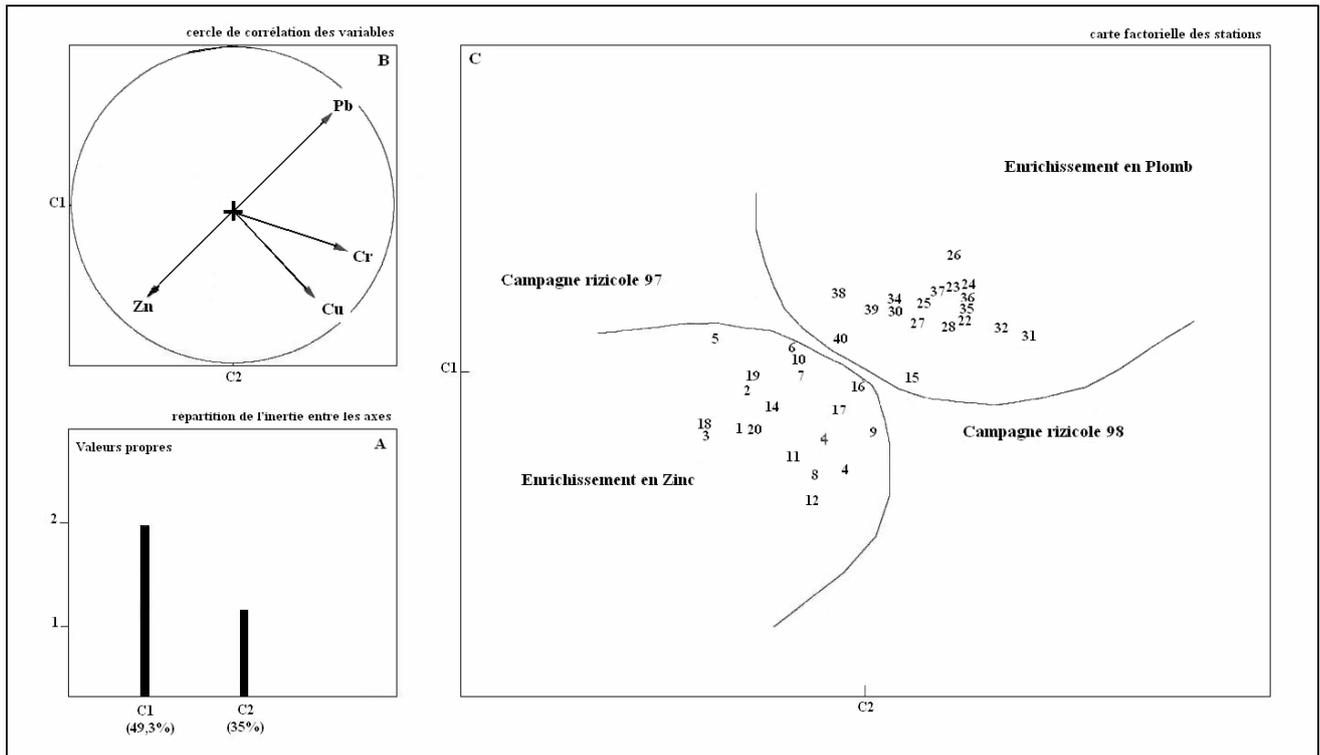


Figure 3. Approche graphique selon le plan 1x2 de l'ACP des métaux dans le sédiment.

Ainsi, la projection des coordonnées de ces variables sur les plans des deux premières composantes principales (1 x 2), illustrée sur le cercle de corrélation (Fig. 2 B) fait apparaître les affinités des variables vis-à-vis de chacun des axes.

A cette typologie de variables, correspond une typologie de relevés qui permettra de repérer plus clairement les tendances dominantes.

L'analyse de la carte factorielle (Fig. 2 C) montre l'individualisation de trois groupes de prélèvements selon leurs degrés de contamination :

- Le groupe 1 est le plus contaminé en plomb, en cuivre et en zinc. Il est formé essentiellement par les relevés effectués au niveau des stations d'entrée d'eau lors du cycle rizicole 1997, montrant par-là que l'eau d'irrigation provenant du Sebou est une source importante d'entrée des métaux lourds.
- Le groupe 2 montre une situation intermédiaire qui se caractérise par des teneurs moyennes en éléments traces. Il est formé essentiellement par les relevés effectués au niveau des stations de sortie d'eau aussi bien lors du cycle rizicole 1997 que celui de 1998. Les rizières retiennent ainsi une partie des polluants entrant dans le système comme conséquence de l'irrigation et des traitements culturaux (Heurteaux *et al.* 1973).
- Le groupe 3 est un état ponctuel de la contamination en chrome. Il est représenté d'une part par la campagne de juillet 1997 (S2), et d'autre part par la campagne d'août 1998 (S1). Ces fortes concentrations en chrome pourraient être liées à un apport ponctuel en ces éléments par les eaux d'irrigation ou par l'utilisation importante de produits phytosanitaires. S'ajoutant à ceci, le comportement

hydrochimique du chrome qui est différent des autres éléments, surtout que le pH acide mesuré lors de la campagne rizicole 1998 permet le relargage des éléments chromiques à partir d'un sédiment qui en est riche.

### Typologie de la contamination métallique des sédiments

L'analyse de l'ACP est effectuée sur la matrice des données formée par les 40 relevés (10 campagnes x 4 stations) au cours desquels les variables (Pb, Cu, Zn et Cr) ont été mesurées durant les deux cycles rizicoles 1997 et 1998. Les valeurs propres des deux axes F1 et F2 et leur contribution à l'inertie totale sont représentées dans le tableau III et la figure 3A. Les codes des variables et leurs coordonnées selon les mêmes axes sont représentés au niveau du tableau IV.

Tableau III. Taux d'inertie et valeurs propres des 3 premiers axes (sédiment).

Axes	Valeurs propres	Contribution à l'inertie totale (en %)	Contributions cumulées (en %)
F1	1,9	47,6	47,6
F2	1,43	35,8	83,4

Tableau IV. Codes de l'analyse en composantes principales et corrélations des variables avec les axes (sédiment).

Variables	Analyse en composantes principales	
	Axe 1	Axe 2
Pb	-0,66	-0,58
Cu	-0,62	0,72
Zn	0,62	0,63
Cr	-0,87	0,37

Les tableaux III et IV permettent d'effectuer une première approche typologique des différentes variables selon leurs affinités et leur regroupement sur les deux premières composantes principales à partir de leur contribution. En effet, celles-ci déterminent 83,4% de l'information totale à raison d'une inertie de 47,6 et 35,8% (Fig. 3 A) respectivement pour les axes factoriels 1 et 2 décrits comme suit :

- l'axe factoriel 1 prend en compte les deux variables, chrome et plomb ;
- l'axe factoriel 2 est représenté par le cuivre et le zinc.

La projection des coordonnées de ces variables sur les plans des deux premières composantes principales prises deux à deux, illustrée sur le cercle de corrélation (Fig. 3 B) fait apparaître les deux groupes de variable ainsi que leurs affinités vis à vis de chacun de ces axes (Tab. IV).

Seule la représentation dans le plan 1 x 2 a été analysée. L'analyse de la carte factorielle (Fig. 3 C) montre une contamination polymétallique et qu'aucun gradient ne se dégage nettement. La situation est dominée par l'apparition de plusieurs pôles d'importance. Néanmoins, en comparant les campagnes 1997 et 1998, une première approche semble mettre en évidence une contamination différente entre ces deux campagnes. En effet, la campagne 97 apparaît plus contaminée en zinc alors que la campagne 1998 a tendance à être plus chargée en plomb. Au niveau de ce dernier groupement un gradient d'enrichissement en chrome apparaît.

Le niveau de contamination montre une nette différence entre les deux campagnes, ce qui confirme l'interdépendance entre les différentes composantes de cet écosystème.

### Typologie de la contamination métallique au niveau du plant de riz

L'analyse en ACP est effectuée sur la matrice des données formée par 32 relevés (2 campagnes x 4 stations x 4 organes) au cours desquels les 4 variables (Pb, Cu, Zn et Cr) ont été mesurées durant les cycles rizicoles 1997 et 1998, dans les racines, les tiges, les feuilles et les grains.

Les valeurs propres des trois axes factoriels F1, F2 et F3 et leur contribution à l'inertie totale sont reportées sur le tableau V. Les variables et leurs coordonnées selon les mêmes axes sont représentés au niveau du Tableau VI.

Tableau V. Taux d'inertie et valeurs propres des 3 premiers axes (plant).

Axes	Valeurs propres	Contribution à l'inertie totale (en %)	Contributions cumulées (en %)
F1	3,64	91,11	91,11
F2	0,17	4,27	95,38
F3	0,14	3,53	98,91

Tableau VI. Codes de l'analyse en composantes principales et corrélations des variables avec les axes (plant).

Variables	Analyse en composantes principales		
	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Pb	0,93	-0,35	-0,74
Cu	0,97	0,34	0,15
Zn	0,94	0,19	-0,28
Cr	0,96	0,11	0,19

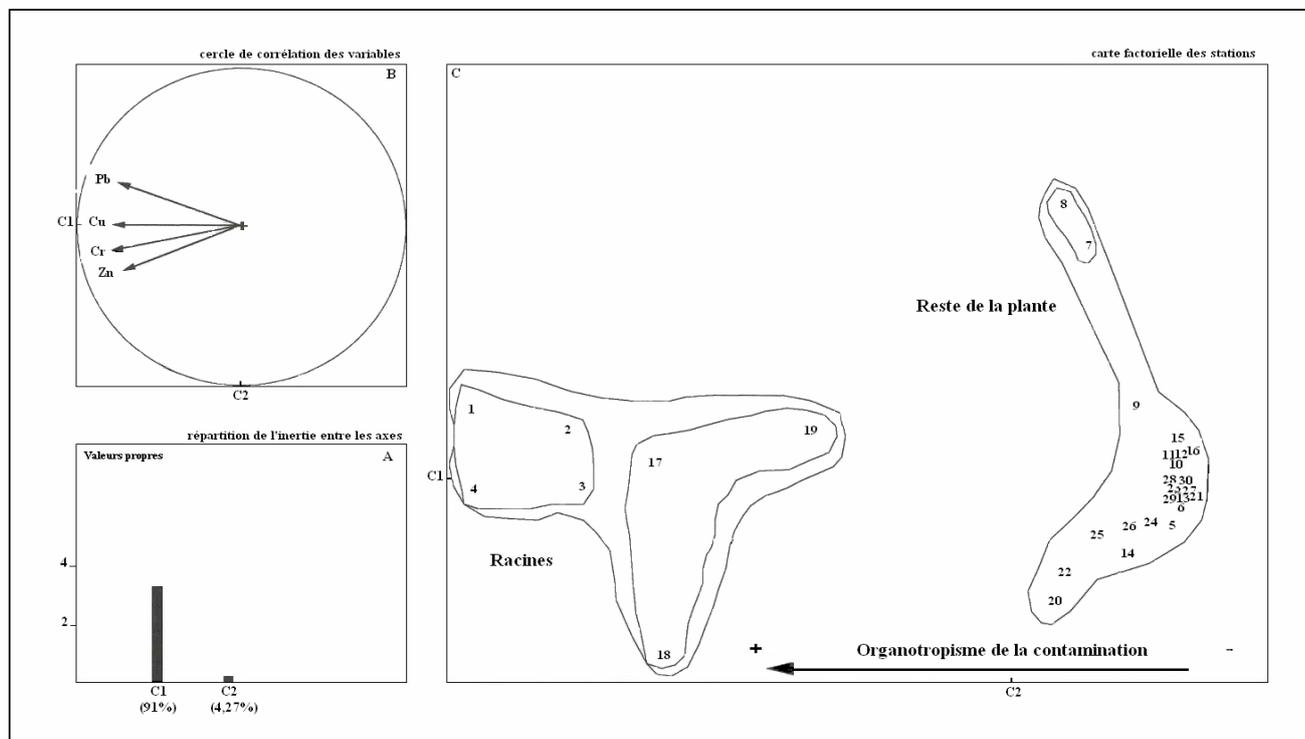


Figure 4. Approche graphique selon le plan 1x2 de l'ACP des métaux dans le plant de riz.

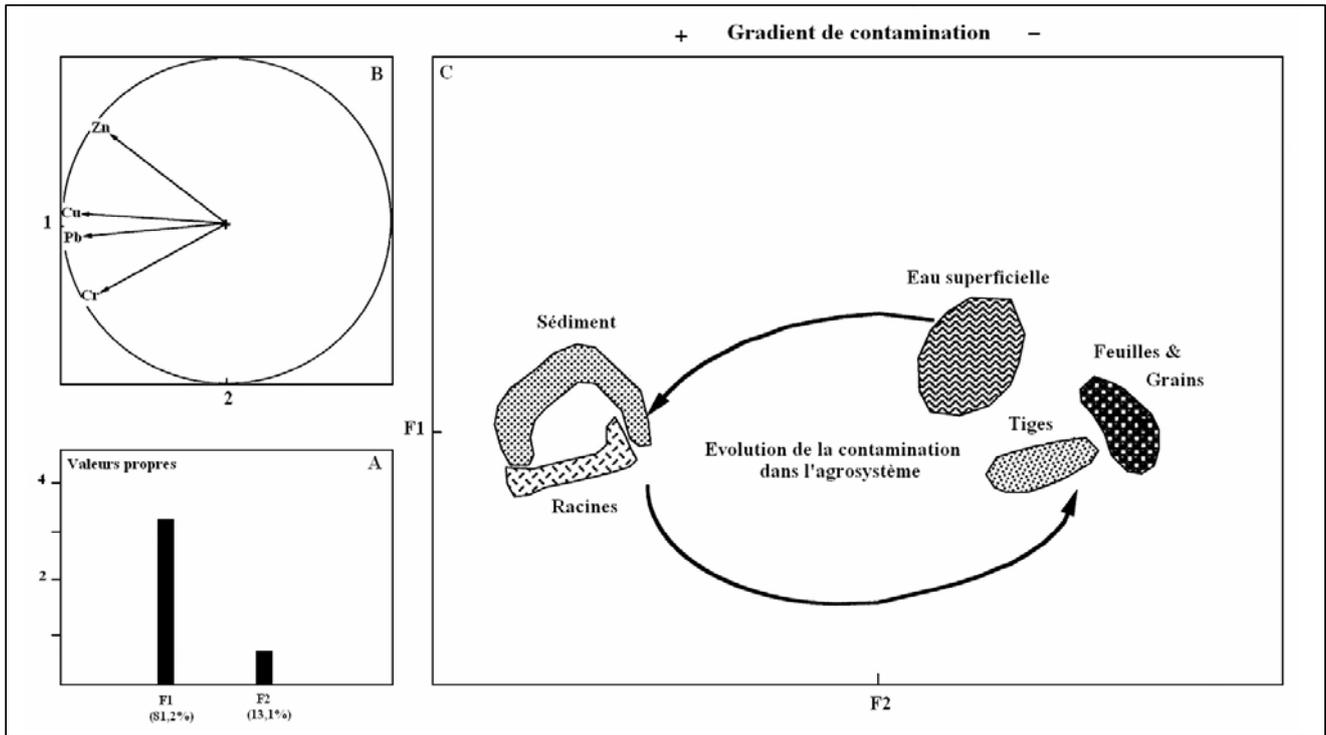


Figure 5. Approche graphique selon le plan 1x2 de l'ACP des métaux dans de l'eau superficielle, du sédiment et des différentes parties du plant de riz.

Les tableaux V et VI permettent une première approche typologique des différentes variables selon leurs affinités et leurs regroupements sur les trois premières composantes principales à partir de leur contribution. Celles-ci déterminent 98,91% de l'information totale à raison d'une inertie de 91,11 ; 4,27 et 3,53% (Fig. 4 C) respectivement pour les axes factoriels 1, 2 et 3. La décomposition de la variabilité montre que l'axe 1 prend en compte les 4 variables (Pb, Cu, Cr, Zn) et définit par conséquent un gradient de niveau de contamination croissant droite - gauche.

Seule la représentation dans le plan 1x2 a été analysée (représente 91% de l'inertie totale).

L'analyse du modèle de contamination du plant de riz représenté par la figure 4 C montre l'individualisation de deux groupes de prélèvement selon leurs degrés de contamination.

Du côté positif, un premier groupe de relevés constitués uniquement par les racines des deux campagnes 1997 et 1998, représente le pôle de forte contamination. Il faut souligner également que la contamination des racines lors du cycle rizicole 1997 est plus élevée que celle du cycle rizicole 1998.

Du côté négatif du gradient, se situe le reste de la plante (tiges, feuilles et grains) qui montre une contamination moyenne sans distinction entre les différentes parties de la plante. Ainsi, la cinétique d'accumulation des métaux lourds montre une accumulation préférentielle au niveau des racines où ils y sont stockés (Terce 2001) et atteignent peu les autres parties de la plante (tiges, feuilles et grains), où malgré la restriction d'accès, par les racines, qui représentent la première barrière (Cataldo & Wildung 1978)

à l'accumulation sélective des ions présents dans la solution du sol, on note une légère bio accumulation ascendante des métaux dans le plant de riz.

#### Modèle de la contamination métallique au niveau de l'agrosystème "rizière"

L'analyse de l'ACP est effectuée sur la matrice de donnée formée par les résultats obtenus au cours de la campagne de septembre 1997 qui est l'unique période où les éléments traces ont été mesurés simultanément dans l'eau, le sédiment, les racines, les tiges, les feuilles et les grains.

Les valeurs propres des deux composantes F1 et F2 et leur contribution à l'inertie totale sont représentées dans le tableau VII et la Fig. 5 A. Les variables et leurs coordonnées selon les mêmes axes sont représentés au niveau du tableau VIII.

Les résultats représentés dans ces tableaux relatent une première approche typologique des différentes variables selon leurs affinités et leurs regroupements sur les deux premières composantes principales à partir de leur contribution.

Les deux premiers axes déterminent 94,3% de l'information totale (81,2% pour l'axe 1 et 13,1 % pour l'axe 2).

Tableau VII. Taux d'inertie et valeurs propres des 3 premiers axes (agrosystème rizière).

Axes	Valeurs propres	Contribution à l'inertie totale (en %)	Contributions cumulées (en %)
F1	3,25	81,2	81,2
F2	0,52	13,1	94,3

Tableau VIII. Codes de l'analyse en composantes principales et corrélations des variables avec les axes (agrosystème rizière).

Variables	Analyse en composantes principales	
	Axe 1	Axe 2
Pb	0,94	0,10
Cu	0,98	-0,01
Zn	0,81	-0,56
Cr	0,86	0,43

La décomposition de la variabilité montre que l'axe 1 prend en compte les 4 variables (Pb, Cu, Cr, Zn) et définit par conséquent un gradient de contamination croissant, droite-gauche (Fig. 5 C).

Sur le cercle de corrélation (Fig. 5B) apparaît clairement le même comportement du Cu et du Pb avec une bonne corrélation entre ces deux variables ( $r^2 = 0,81$ ) et un comportement différent entre le Zn et le Cr avec une faible corrélation ( $r^2 = 0,23$ ).

A cette typologie de variables, correspond une typologie de relevés qui permettra de repérer plus clairement les tendances dominantes.

L'analyse du modèle de contamination de cet écosystème artificiel (Fig. 5 C), montre le processus d'accumulation dans les différents compartiments. En effet, deux groupes se détachent :

- un premier représenté par le sédiment et les racines montrant la plus forte contamination par les éléments métalliques ;
- un deuxième, proche du centre, montre un certain enrichissement métallique avec cependant, une légère surcharge au niveau des eaux superficielles probablement dû aux eaux d'irrigation et aux traitements phytosanitaires.

Ainsi, les éléments traces montrent une accumulation préférentielle au niveau des sédiments suivi par une tendance à l'absorption et à l'accumulation par le système racinaire du riz qui malgré sa restriction d'accès au reste de la plante, montre une légère bioaccumulation ascendante des métaux.

## CONCLUSION

L'évolution de la contamination métallique dans l'agrosystème réalisée par l'ACP, montre d'une part que l'eau d'irrigation provenant du Sebou est une source d'entrée des métaux lourds dans les rizières et que d'autre part ces dernières retiennent une partie de ces polluants comme conséquence de l'irrigation et des traitements culturaux. La présence de ces métaux lourds au niveau des sédiments pourrait poser un problème écotoxicologique à plus ou moins long terme pour la vie aquatique et pour le plant de riz. En effet, le piégeage de ces métaux lourds dans le sédiment n'est pas forcément irréversible. Il existe des risques de remobilisation et de leur absorption par les organismes vivants, lorsque les conditions physico-chimiques le permettent (Bonnet 2000, François *et al.* 2002).

L'organotropisme chez la plante de riz montre une tendance à une accumulation préférentielle au niveau des

racines où ils y sont stockés et atteignent peu les autres parties de la plante (tiges, feuilles et grains).

## Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut Scientifique et l'Institut National d'Hygiène (Rabat). Les auteurs remercient les deux évaluateurs anonymes pour les remarques et commentaires qui ont permis d'améliorer le manuscrit.

## Références

- Anonyme 1974. Le riz. Rapport de l'office régional de mise en valeur agricole du Gharb. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, pp. 5-19.
- Auger D. 1989. Méthode de dosage du plomb, du cadmium, du cuivre et du zinc dans les milieux biologiques. Direction de l'environnement et de recherches océaniques. DERO-89-07-MR.
- Bennasser L. 1997. *Diagnose de l'état de l'environnement dans la plaine du Gharb : suivi de la macro pollution et ses incidences sur la qualité hydrochimique et biologique du bas Sebou*. Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Ibn Tofail, Fac. Sci., Kénitra. 174 p.
- Bennasser L., Fekhaoui M., Mameli O. & Melis P. 2000. Assessment of the metals contamination of the low Sebou sediments (Morocco). *Annali di Chimica*, 90, 637-644.
- Bonnet C. 2000. *Développement de bioessais sur sédiments et application à l'étude en laboratoire de la toxicité de sédiments dulçaquicoles contaminés*. Thèse Sciences Fondamentales et Appliquées ; Université de Metz, 198 p.
- Cataldo D.A. & Wildung R.E. 1978. Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants. *Environ Health Perspect*; 27, 149-159.
- Chiffolleau J.F. & Truquet I. 1994. Nouvelles méthodes de dosage de quelques métaux traces dans les sédiments et les matières en suspension. Rapport Int. DEL 08-94 IFREMER.
- Coquery M. & Horvat M. 1996. The analytical performance study for the MED POL AREA : determination of trace elements in marine sediment SD-MEDPOL-1/TM and in fish homogenate MA-MEDPOL-1/TM. Report of the International Atomic Energy Agency Marine Environment laboratory, Monaco, 85 p.
- Dolédéc S. & Chessel D., 1993. Programmathèque ADE. Analyses multivariées et expressions graphique des données environnementales, Version 3.6. Ecologie des Eaux douces et des Grands Fleuves. URA CNRS 1451 – Université Claude Bernard Lyon I.
- El Bliidi S. 2005. *Rizières du Gharb: Qualité physico-chimique, Composition faunistique et Evaluation de la contamination métallique dans les différentes composantes de l'agrosystème*. Thèse de Doctorat, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 197 p.
- El Bliidi S., Fekhaoui M., Idrissi L., El Abidi A. & Benazzou T. 2006a. Contamination des rizières de la plaine du Gharb (Maroc) par des métaux traces. *VECTEUR Environnement*, 39, 1, 47-53.
- El Bliidi S., Fekhaoui M., Serghini A. & El Abidi A. 2006b. Rizières de la plaine du Gharb (Maroc). Qualité des eaux superficielles et profondes. *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, section Sci. Vie, 28, 55-60.
- Fekhaoui M. & Bennasser L. 1994. Qualité physico-chimique des eaux superficielles et dynamiques marégraphique. *Actes rencontres sur l'hydrodynamique marine*, Univ. Hassan II, Fac. Sci. Ben M'Sik Casa, 9-10 nov 1994.
- Fekhaoui M., Bennasser L., Seigle-Murandi F. & Benoit-Guyod J.L. 1993. Water pollution in the Sebou river basin

- (Morocco). Preliminary result. *First Setac World Congress : Ecotoxicology and Environmental chemistry*. A global perspective. Lisbon, Portugal, 28-31 mars.
- François M., Li D., Dubourguier H.C. & Douay F. 2002. Facteurs déterminants de la mobilité des métaux (Pb, Cd et Zn) dans les sols contaminés autour de deux usines métallurgiques du Nord de la France. *Journées Nationales de l'Etude des sols*, 22-24 octobre 2002, Orléans.
- Heurteaux P., Mestres R. & Vaquer A. 1973. Contamination des milieux aquatiques Camarguais par les résidus de produits phytosanitaires. *Actes de la Réserve de Camargue* 38, 33-61.
- IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) 1993. Standard and reference materials for marine Science. *Manuals and Guides*, 25, 577 p.
- Kili M., El Mansouri B., Taky A. & Chao J. 2006. Nouvelle approche d'estimation des prélèvements d'eau d'irrigation à partir des ressources souterraines: cas de la nappe côtière du Gharb. *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, section Sci. Terre, 28, 31-39.
- Terce M. 2001. Les impacts environnementaux du recyclage des boues de station d'épuration. INRA-ME&S. Paris.

*Manuscrit déposé le 28 septembre 2006  
Version modifiée acceptée le 28 juillet 2007*