

## EVALUATION DU NIVEAU DE CONTAMINATION METALLIQUE DES SOLS DES BERGES DE L'OUED RHUMEL ET ETUDE DE SON IMPACT SUR LA VEGETATION RIVERAINE (EN AMONT DE LA CONFLUENCE OUED RHUMEL-BOUMERZOUG) (CONSTANTINE - ALGERIE)

Reçu le 01/06/2003 – Accepté le 31/12/2003

### Résumé

L'évaluation du niveau de contamination métallique des sols des berges de l'oued Rhumel (en amont de la confluence Oued Rhumel-Boumerzoug) a révélé des teneurs en Cu, Zn, Cr, et Pb inférieures aux teneurs maximales admissibles dans les sols. Celles-ci sont dépassées, de loin, pour les teneurs en Cd, dans 72% des sols. Le calcul d'un indice de contamination fait apparaître, pour ce qui est des teneurs moyennes, une pollution modérée par le cadmium et une contamination légère à très sévère par les autres métaux.

L'analyse de la végétation riveraine de l'oued Rhumel a permis de montrer que ce sont les facteurs écologiques «niveaux de l'eau», «éloignement des berges» et «teneur en cadmium du sol» qui agissent de façon prépondérante dans la répartition des espèces végétales le long de ce cours d'eau. Cette analyse a mis en évidence l'existence de quatre groupes d'espèces à étroites affinités écologiques.

**Mots clés:** végétation, Oued Rhumel, sol, facteurs édaphiques, métaux lourds.

### Abstract

The evaluation of the metal levels of soils contamination of the Rhumel wadi banks (upstream of the junction Rhumel-Boumerzoug Wadi) revealed Cu, Zn, Cr, and Pb contents lower than the acceptable maximum contents in the soils. Those are exceeded, by far, for the Cd contents, in 72% of the soils. The calculation of an index of contamination reveals, as regards the average contents, a moderated pollution by cadmium and a light contamination, to very severe, by other metals.

The analysis of the bordering vegetation of the Rhumel wadi shows that they are the ecological factors "levels of water", "distance of the banks" and "cadmium content of the ground" which act, in a dominating way, in the distribution of plant species along this river. This analysis highlighted the existence of four groups of species with narrow ecological affinities.

**Keywords:** vegetation, Rhumel Wadi, soil, edaphic factors, heavy metals.

A. BENTELLIS-MOSBAH<sup>1</sup>  
R. AZZOUQ<sup>1</sup>  
O. RACHED<sup>1</sup>  
R. GHARZOULI<sup>2</sup>  
A. SOLTANI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Biologie et Environnement  
Département des Sciences de la Nature  
Faculté des Sciences  
Université Mentouri  
25000 Constantine, Algérie  
<sup>2</sup>Département des Sciences de la Nature  
Faculté des Sciences  
Université Ferhat Abbas  
19000 Sétif, Algérie

### ملخص

أظهر تقدير مستوى التلوث بالمعادن لتربة ضفاف وادي الرمال (الجهة العليا من ملتقى نهري وادي الرمال ووادي بو مرزوق) وجود تراكم كل من النحاس، الزنك، الكروم، والرصاص، أقل من الحد الأقصى المسموح به في التربة. إلا أن هذا الحد قد تم تجاوزه فيما يخص الكاديوم في 72% من التربة المدروسة.

- بين تقدير مؤشر التلوث الخاص بالمتوسطات، وجود تلوث معتدل بالكاديوم، وتلوث يتراوح ما بين الطفيف والشديد ببقايا المعادن المدروسة.

- أوضحت دراسة النباتات المجاورة لضفاف وادي الرمال، أن العوامل البيئية "مستوى الماء"، "البعد عن حواف الوادي" و"محتوى الكاديوم في التربة" هي التي كان لها الأثر في توزيع الأنواع النباتية على طول هذا المجرى المائي.

- تبين من خلال هذه الدراسة، وجود أربع مجموعات من الأنواع النباتية ذات التقارب البيئي الشديد.

**الكلمات المفتاحية:** وادي الرمال، التربة، عوامل التربة، المعادن الثقيلة، المجتمع النباتي.

Identifier les qualités d'un sol à partir des descripteurs simples que sont les végétaux est un des objectifs majeurs des recherches menées par les phytoécologues. Les tentatives allant dans ce sens et concernant les zones humides sont peu nombreuses. En effet, la végétation des régions humides et des zones riveraines a été étudiée essentiellement par des phytosociologues dont le souci majeur est de délimiter et de hiérarchiser les groupements végétaux ou syntaxons.

La végétation riveraine de l'oued Kebir-Rhumel n'a fait l'objet que de quelques observations phytosociologiques par Gehu *et al.* [1]. Cet important cours d'eau de l'Est algérien, qui s'écoule sur environ 208 km de la source à la mer, collecte les eaux usées de nombreuses zones industrielles et de diverses agglomérations, dont la ville de Constantine. Ces effluents liquides sont connus pour être souvent chargés en métaux lourds. Ils sont donc susceptibles de contaminer les sols des bordures de l'oued, en particulier, lors des crues qui ont souvent lieu à la suite des pluies torrentielles. Ils peuvent, avec le temps, s'y accumuler suite à de fortes liaisons avec la matière organique et les argiles.

Ainsi, les sols des bordures d'oueds peuvent très bien présenter d'importantes teneurs métalliques, sans que leurs eaux, qui sont constamment renouvelées, et leurs sédiments,

qui sont tout le temps lessivés, n'en soient fortement contaminés. Il peut s'ensuivre, à la longue, une sérieuse perturbation de la végétation riveraine.

Aussi, dans la présente étude, nous nous proposons, dans un premier temps, de déterminer le niveau de contamination des sols des bordures de l’oued Rhumel par plusieurs métaux lourds (Cu, Zn, Cr, Cd et Pb). Dans un deuxième temps nous visons à étudier sa végétation riveraine et, en utilisant l’analyse factorielle des correspondances, à mettre en évidence des groupements végétaux, ou des espèces végétales, indicateurs des caractéristiques édaphiques ou d’une éventuelle pollution des sols riverains de l’oued Rhumel par les métaux lourds.

Aucune étude similaire n’a encore été effectuée sur ce cours d’eau. Seules quelques études, portant sur la pollution organique et les macro invertébrés comme bioindicateurs, ont été effectuées au niveau de ses eaux [2,3].

Nous avons choisi de n’étudier que la portion de l’oued en amont de la confluence Bumerzoug-Rhumel, de par l’importance des sources polluantes, mais aussi pour éviter d’introduire le facteur altitude, comme source supplémentaire de variabilité, le dénivelé étant très important entre l’amont et l’aval de la dite confluence. Cependant, l’ensemble du bassin versant fera l’objet d’une étude ultérieure.

## MATERIEL ET METHODES

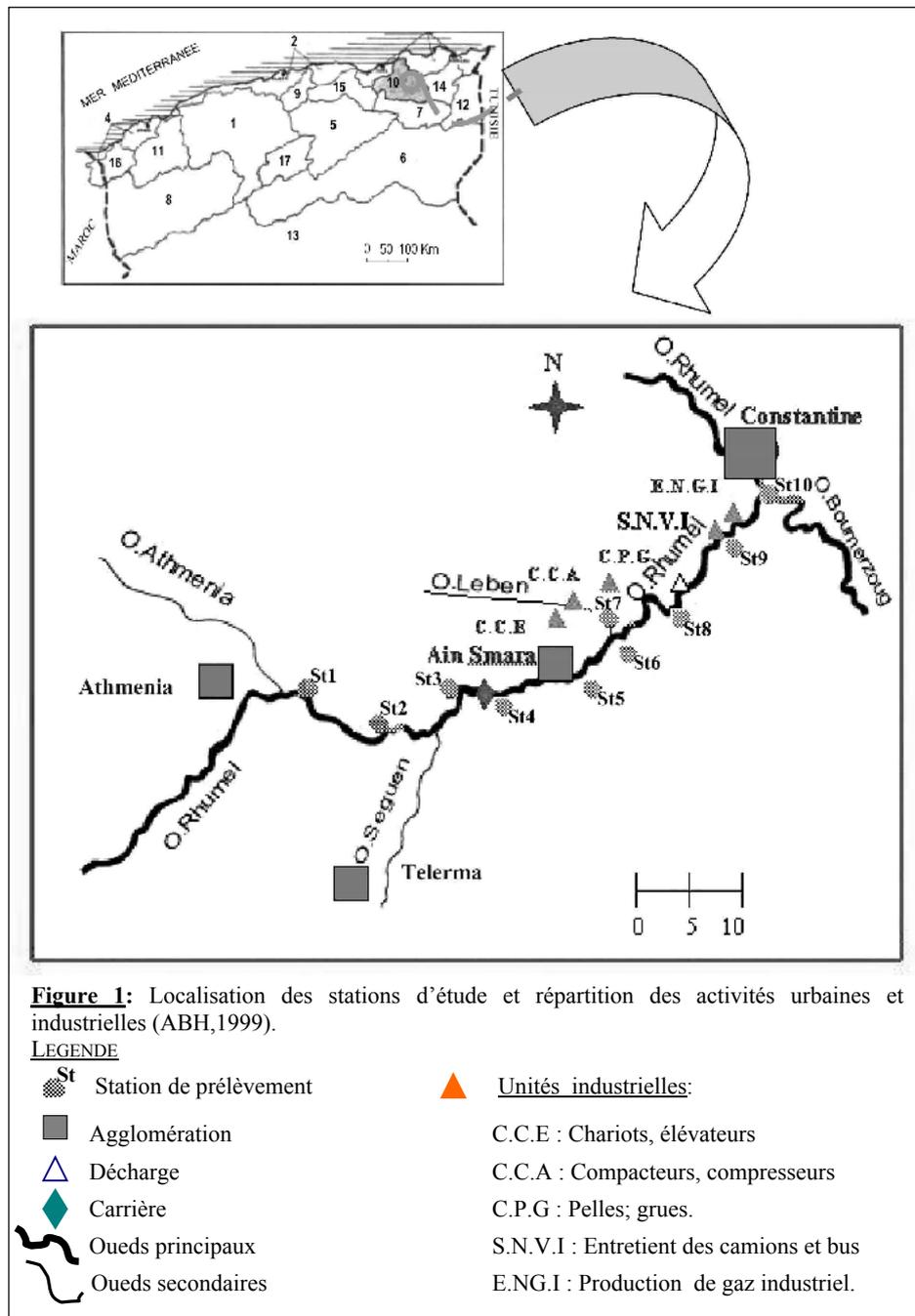
### Présentation de la zone d’étude

Elle s’étend sur une quarantaine de kilomètres, au sud-ouest de la ville de Constantine, le long de l’oued Rhumel (Fig. 1). Elle prend son point de départ à l’aval de la ville d’Oued Athmania, à une dizaine de kilomètres du point de confluence de l’oued Rhumel avec l’oued Athmenia, et s’achève à l’entrée de la ville de Constantine au point de confluence de l’oued Rhumel avec l’oued Bumerzoug.

Cette zone présente, du point de vue géologique, selon Mebarki [4], deux éléments dominants :

- les massifs calcaires crétacés caractérisés par des marnes et des marno-calcaires.
- les plaines plio-quaternaires caractérisées par des formations caillouteuses encroûtées et par des zones de remblaiement argilo-limoneux.

Ces deux éléments constituent un dispositif physique qui se maintient étroitement de l’amont à l’aval. Dans cette



**Figure 1:** Localisation des stations d’étude et répartition des activités urbaines et industrielles (ABH,1999).

#### LEGENDE

- |                   |                        |   |
|-------------------|------------------------|---|
| St                | Station de prélèvement | Unités industrielles:                   |
| Agglomération     |                        | C.C.E : Chariots, élévateurs            |
| Décharge          |                        | C.C.A : Compacteurs, compresseurs       |
| Carrière          |                        | C.P.G : Pelles; grues.                  |
| Oueds principaux  |                        | S.N.V.I : Entretien des camions et bus  |
| Oueds secondaires |                        | E.N.G.I : Production de gaz industriel. |

zone, le lit majeur de l’Oued Rhumel et ses berges, sont caractérisés d’alluvions récentes constituées de limons, de graviers et de galets roulés.

Du point de vue bioclimatique, notre région d’étude appartient à l’étage méditerranéen semi-aride, à hiver frais, proche de la limite de l’étage sub-humide.

## Méthodes d’échantillonnage

### Plan d’échantillonnage

L’échantillonnage a été réalisé, selon un plan mixte, combinant l’échantillonnage stratifié et l’échantillonnage subjectif, en respectant les critères d’homogénéité physiologique, floristique et écologique. Les trois strates retenues correspondent à des degrés croissant de pollution organique de l’eau, préétablis par de précédents travaux

[2] : pollution élevée, pollution moyenne et pollution faible à inexistante.

Dix stations d'étude (Fig. 1) ont été réparties sur les trois principales strates (pollution élevée : stations 10, 9, 8 et 7 ; pollution moyenne : stations 6, 5 et 4 et pollution faible à inexistante : stations 3, 2 et 1). La situation géographique de certaines sources polluantes a motivé le choix de l'emplacement des stations au sein d'une même strate.

### Echantillonnage de la végétation

Deux à quatre relevés floristiques sont réalisés dans chaque station. Au total, vingt cinq relevés ont été effectués. Ils ont été réalisés selon la méthode décrite par Guinochet [5].

En ce qui concerne la région étudiée, la surface floristiquement homogène (aire minimale) ne dépasse pas en moyenne 20 m<sup>2</sup>.

### Echantillonnage et analyse des sols

A chaque relevé floristique correspond un prélèvement d'échantillon moyen du sol. Compte tenu de la nature des végétaux colonisant spontanément les bordures de l'oued Rhumel (dans leur très grande majorité des espèces herbacées, annuelles ou vivaces), seuls les 15-20 premiers centimètres du sol ont été prélevés pour chaque site.

Au laboratoire, des analyses ont été réalisées sur la partie dite «terre fine» (diamètre inférieur à 2mm) du sol séché à l'air libre : la granulométrie selon la méthode internationale [6], le calcaire total avec le calcimètre de Bernard, le calcaire actif avec la méthode Drouineau [7], le pH dans une suspension sol/eau de 1/2.5, la conductivité électrique dans une suspension sol/eau de 1/5, la matière organique par la méthode Walkley et Black [8] le phosphore assimilable par la méthode d'Olsen et Dean [9], l'azote total par la méthode de Kjeldahl et le potassium échangeable à l'acétate d'ammonium à pH 7.

Les teneurs métalliques totales des sols (Zn, Cu, Cr, Cd et Pb) ont été déterminées, à la suite d'une extraction à l'eau régale selon la méthode de Hoening *et al.* [10] par spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme, de type Perkin-Elmer, Aanalyst 100.

### Méthode d'analyse statistique

Deux analyses factorielles des correspondances (AFC) ont été effectuées. La première a été appliquée aux variables édaphiques, sur une matrice de données brutes représentant les variables (édaphiques) et les observations (relevés). Ces variables quantitatives ont été introduites sous forme de classes établies sur la base des normes données par les Publications du Ministère de la Coopération [11] et celles qui sont données par l'Association Française pour l'Etude des Sols (A.F.E.S.) [12].

La deuxième AFC a été appliquée aux données floristiques, sur une matrice de données représentant les variables (espèces) et les observations (relevés). Les indices d'abondance-dominance de Braun-Blanquet des différentes espèces végétales, ont été pris en considération dans le traitement statistique.

La première analyse a servi à regrouper les relevés en fonction des variables édaphiques alors que la seconde a permis de les regrouper suivant les affinités existant entre leurs cortèges floristiques. La comparaison entre les deux analyses a mis en évidence le comportement des cortèges floristiques vis à vis des variables édaphiques.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### 1- Caractérisation physico-chimique des sols

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols étudiés sont portés dans le tableau 1.

	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
<b>Argile (%)</b>	21	48.5	33,44	7,94
<b>Limon (%)</b>	17.5	38	30,62	5,71
<b>Sable (%)</b>	10.67	55.45	30,97	10,13
<b>Calcaire total (%)</b>	19.12	43.2	35,48	6,53
<b>Calcaire actif (%)</b>	2.25	8.65	5,84	2,25
<b>Conductivité électrique (µS/ cm<sup>2</sup>)</b>	155	1166	772,76	257,14
<b>pH</b>	7.35	7.88	7.58	0.15
<b>Azote total (0/00)</b>	0.40	1.60	0.98	0.30
<b>Phosphore assimilable (0/00)</b>	0.024	0.087	0.045	0.018
<b>Potassium échangeable (0/00)</b>	0.06	0.14	0.09	0.02
<b>Matière organique (%)</b>	1.42	2.96	2.31	0.45
<b>Cuivre (ppm)</b>	9.313	57.84	16,48	9,19
<b>Chrome (ppm)</b>	27.58	52.58	53,89	71,85
<b>Zinc (ppm)</b>	68.72	186.38	119,64	27,62
<b>Cadmium (ppm)</b>	1.05	15.62	4,21	3,03
<b>Plomb (ppm)</b>	< l.d. (*)	110.25	57,17	21,23

**Tableau 1:** Résultats des analyses physico-chimiques des sols.

(\*) l.d.: limite de détection.

La projection des résultats de l'analyse granulométrique sur le triangle textural [13] montre que les sols analysés présentent des textures argileuses, argilo-limoneuses et limoneuses (Tab. 2) avec une dominance de ces dernières. Il s'agit en fait, essentiellement de textures fines. Les sols étudiés présentent donc une homogénéité du point de vue texture.

Les classes texturales	Les relevés de sol
Argileux	1, 2, 3, 4, 24 et 25.
Limoneux	5, 6, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19 et 20.
Argileux limoneux	7, 10, 13, 21, 22 et 23.
Sableux argileux limoneux	8.

**Tableau 2:** Les différentes classes texturales.

L'étude du tableau 1 montre que, lorsqu'on prend en considération le calcaire total, tous les sols apparaissent calcaires, selon les normes de l'A.F.E.S. [12]. Ceci s'explique par la nature du matériel géologique qui comporte une prédominance de formations calcaires marneuses [4]. Cependant, l'étude des taux de calcaire actif,

qui constitue la fraction de calcaire pouvant avoir une action biologique, montre que ceux-ci sont très variables d'un sol à un autre (écart type élevé). En moyenne, ils sont acceptables (inférieurs à 6%) [14], mais, ils atteignent dans certains sols des valeurs pouvant être limitantes pour les espèces végétales.

Les résultats de la conductivité électrique, font apparaître que, selon les normes données par les Publications du Ministère de la Coopération [11], la quasi-totalité (92%) des sols de la région d'étude est légèrement saline (conductivité électrique supérieure à  $500\mu\text{S}/\text{cm}^2$  et inférieure à  $1000\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ) et seulement 8% des sols sont salins (conductivité électrique supérieure à  $1000\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ).

Le pH, en moyenne de 7.58, varie très peu d'un sol à l'autre (écart type égal à 0.15). D'après les normes données par les Publications du Ministère de la Coopération [11], les sols étudiés sont classés comme neutres à légèrement alcalins. De tels pH sont dus à la présence de calcaire dans les sols. En effet, selon Baize et Jabiol [15], les sols calcaires ont des pH entre 7.3 et 8.5.

La totalité des sols de la région d'étude présente des teneurs en matière organique considérées comme normales selon Duthil [16]. En effet, elles sont, en moyenne de 2,3% et sont peu variables d'une station à l'autre (écart type de 0.45).

D'après les normes données par Lasinier-Lachaise [17], 68% des sols de notre région d'étude sont moyennement riches à riches en azote (teneurs comprises entre 1 et 1.5%). Ils présentent une faible variation des teneurs en cet élément (écart type très inférieur à la moyenne).

Les teneurs moyennes de phosphore correspondent, selon les normes données par les Publications du Ministère de la Coopération [11], à celles de terres pauvres en cet élément. Ceci est le cas de 72 % des sols de nos stations dont les teneurs sont, d'ailleurs, peu variables (écart type très inférieur à la moyenne).

Pour le potassium, également, les sols de notre région d'étude sont, selon les mêmes normes, dans leur totalité, pauvres en cet élément. Ils comportent des teneurs peu variables.

## 2- Evaluation de la contamination métallique

Selon les normes données par l'U.N.E.P (Programme des Nations Unis pour l'Environnement) [18], les sols de notre région d'étude ont des teneurs moyennes en cuivre, chrome, zinc et plomb (Tab. 1), inférieures ou égales aux teneurs maximales tolérables dans les sols (respectivement : 140, 100, 300 et  $100\text{ mg}/\text{Kg}^{-1}$ ). Par contre, les teneurs moyennes en cadmium sont nettement supérieures aux normes ( $3\text{ mg}/\text{Kg}^{-1}$ ) données par cette institution. Celles-ci sont dépassées dans 75% des sols (Fig. 2). Elles sont particulièrement alarmantes dans les stations 3 et 10, où elles atteignent respectivement 7 et  $15.6\text{ mg}/\text{Kg}^{-1}$ . La station 10, qui comporte les teneurs les plus élevées, est en fait localisée à l'embouchure de la ville de Constantine et en aval de toutes les unités industrielles, de la décharge publique et de plusieurs autres agglomérations (fig. 1). Elle reçoit donc toutes leurs eaux usées ainsi que celles des cités limitrophes de la ville de Constantine. La pollution des sols

des bordures de l'oued Rhumel par le cadmium serait donc aussi bien d'origine urbaine qu'industrielle. Ceci rejoint les observations de Horowitz *et al.* [19] qui mettent en évidence la relation entre l'augmentation de la pollution des sédiments de la rivière de la Seine, par les éléments traces, et celle de la densité de la population et de l'activité industrielle.

La station 3, qui se trouve en amont de toutes les unités industrielles, comporte, elle aussi, des teneurs en cadmium excessives. Cette station se trouvant juste en aval de l'oued Seguen (Fig. 1), de telles teneurs peuvent être dues aux rejets d'éventuelles unités industrielles, non répertoriées par l'ABH (cf. Fig.1), et localisées dans la ville de Teleghma, que traverse justement l'oued en question.

Cependant, l'oued Rhumel comportant tout au long de son parcours, divers champs et cultures, les teneurs élevées enregistrées aussi bien dans les stations 3 et 10 que, à un degré moindre, dans d'autres stations peuvent être également dues à l'utilisation irrationnelle d'engrais phosphatés au niveau des stations en question. En effet, les engrais phosphatés sont connus pour leur richesse en cadmium, en particulier ceux d'origine algérienne [20].

En ce qui concerne le zinc et le plomb, leurs teneurs moyennes, bien qu'inférieures aux teneurs admissibles dans les sols, sont supérieures à celles qui sont considérées comme normales dans les sols [21]. Le cuivre et le chrome présentent par contre des teneurs moyennes inférieures à celles-ci.

En fait, ce sont les stations 3 et 4 (Fig. 2) qui comportent les teneurs en zinc et en plomb les plus élevées. Ces deux stations étant en amont de toutes les unités industrielles, leur contamination pourrait être soit liée à la proximité de la carrière (Fig. 1) soit aux mêmes raisons que celles qui ont été invoquées, ci-dessus, pour le cadmium.

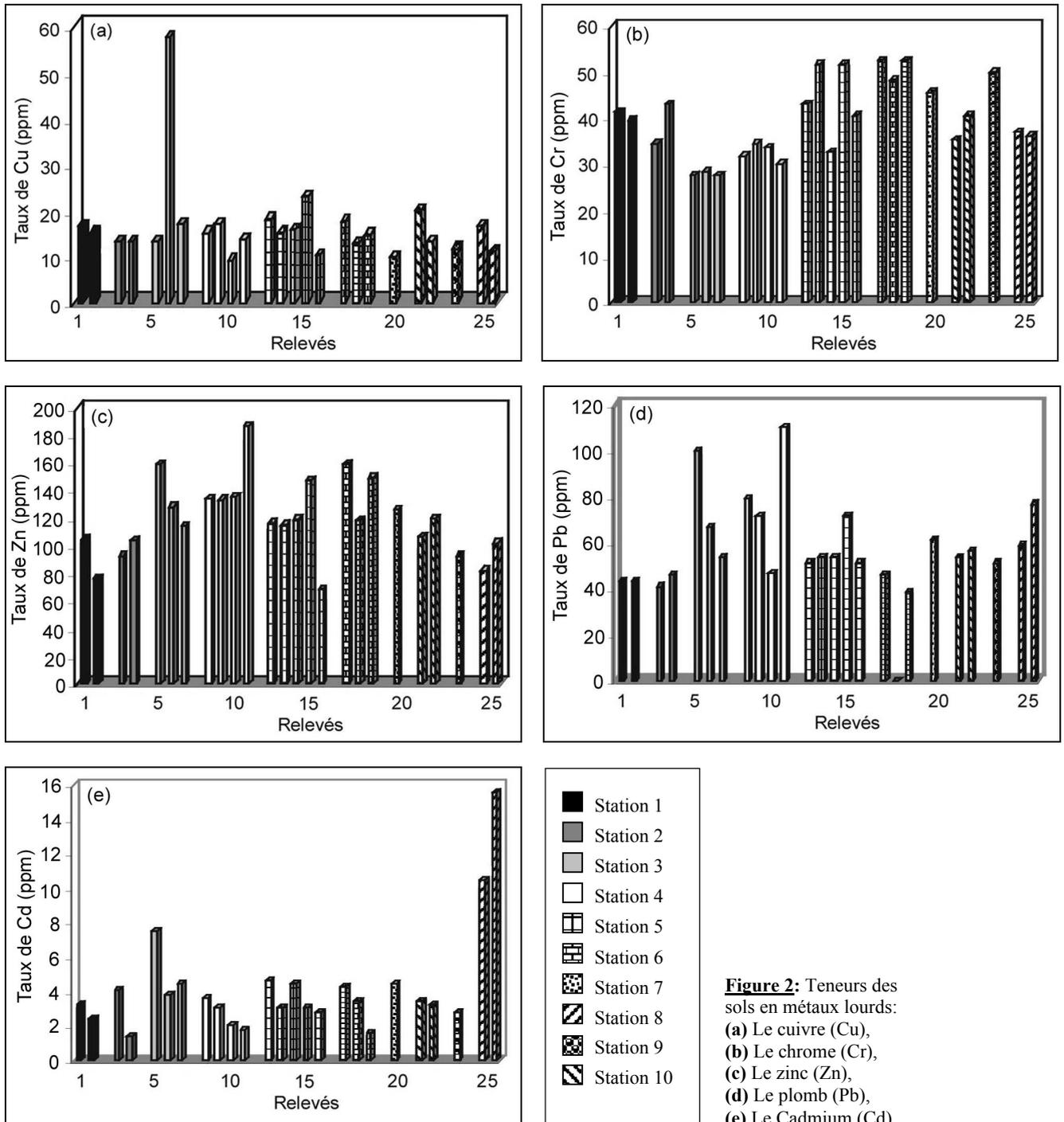
Par ailleurs, lorsqu'on calcule l'indice de contamination donné par Lacatusu [22], il s'avère que les teneurs moyennes en cadmium, zinc et plomb correspondent, respectivement à une pollution modérée, une très sévère contamination et une sévère contamination. Les teneurs maximales indiquent, pour le cadmium, une très sévère pollution, et pour le cuivre et le plomb, une légère pollution.

Seules les teneurs en chrome et en cuivre ne sont pas alarmantes puisqu'elles n'indiquent qu'une légère contamination. Ainsi, bien que ce soit les valeurs du cadmium qui sont les plus alarmantes, celles des autres éléments, abstraction faite du chrome, peuvent devenir inquiétantes.

## 3- Recherche des groupes phytoécologiques

### 3.1- Résultats de l'analyse factorielle des variables édaphiques.

Les taux d'inertie des cinq premiers axes sont, respectivement, de 38.17%, 25.38%, 12.33%, 9.83% et 5.79%. Ils témoignent d'une relative bonne structuration du nuage le long des deux premiers axes. Ce dernier restitue 63.55% de l'information totale. Dans cette analyse, nous nous en tiendrons donc aux deux premiers axes. Les variables édaphiques, zinc, cuivre, chrome et plomb,



**Figure 2:** Teneurs des sols en métaux lourds: (a) Le cuivre (Cu), (b) Le chrome (Cr), (c) Le zinc (Zn), (d) Le plomb (Pb), (e) Le Cadmium (Cd).

n'ont pas été introduites dans cette analyse du fait de leur présence dans les sols à des teneurs inférieures à des teneurs maximales tolérables.

L'examen de la carte factorielle 1 des relevés (Fig. 3) permet de constater l'existence de quatre ensembles de relevés (I, II, III et IV), bien tranchés, et à fortes contributions relatives :

I = 1, 2, 4, 23, 19, 18 et 21.      III = 6, 9, 10, 15, 13 et 22.  
 II = 11, 8, 5, 14 et 12.            IV = 25 et 24.

**L'ensemble I**, localisé du côté positif de l'axe 1, contribue fortement à la formation de ce facteur. Il contient en effet, les relevés 1, 2, 4, 23, 19, 18 et 21 qui présentent de fortes

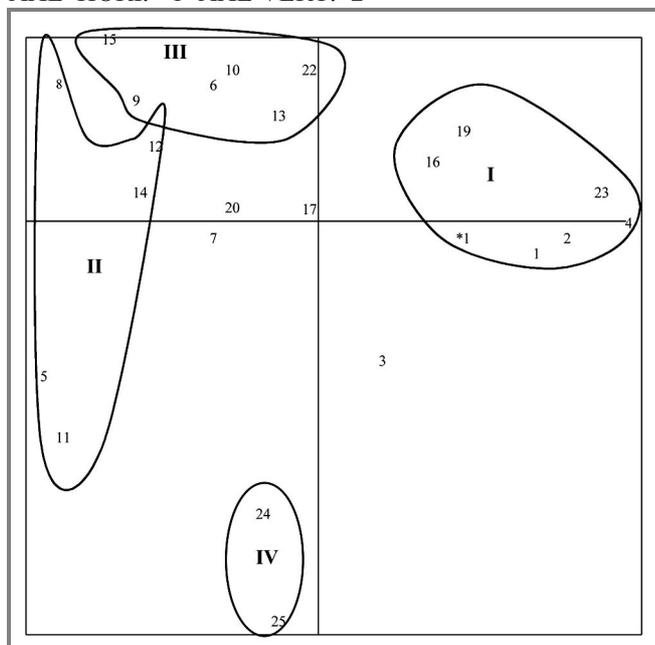
contributions relatives (respectivement : 749%, 801%, 656%, 729%, 405%, 339% et 362%).

**L'ensemble II**, situé du côté négatif de l'axe 1, contient les relevés 11, 8, 5, 14 et 12 dont les contributions relatives sont respectivement : 571%, 327%, 572%, 711% et 314%.

**L'ensemble III**, contribue fortement à la formation de l'axe 2 (du côté positif). Il contient les relevés 6, 9, 10, 15, 13 et 22, à contributions relatives respectives : 392%, 283%, 381%, 490%, 325% et 251%.

**L'ensemble IV** contribue également à la formation de l'axe 2, mais plus fortement que l'ensemble III. Il est

AXE HORI.=1 AXE VERT.=2

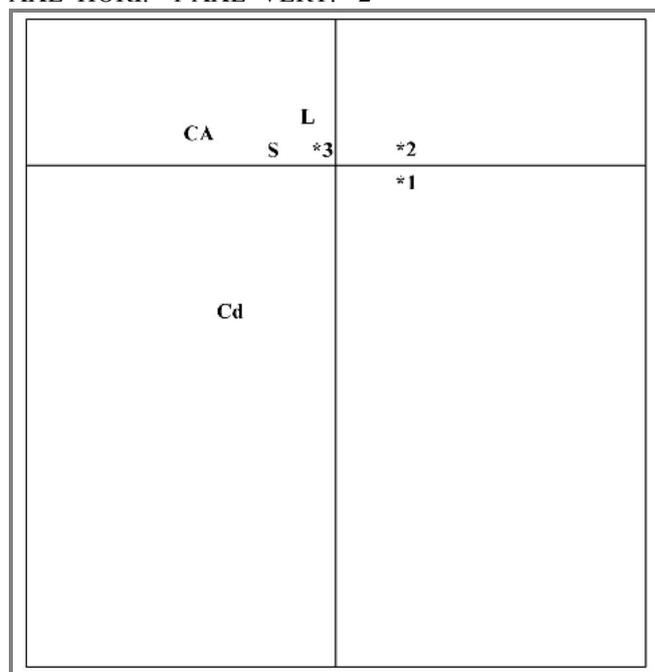


Points multiples :

\*1 : 18-21.

**Figure 3:** Carte factorielle n°1 des relevés selon le plan 1 et 2 (analyse en fonction des variables édaphiques) .

AXE HORI.=1 AXE VERT.=2



Points multiples :

\*1 : A- P .

\*2 : Ce - K - Mo .

\*3 : N - CT- pH .

**Figure 4:** Carte factorielle n°2 des variables édaphiques selon l'axe 1 et 2.

A= Argile, L= Limon, S= Sable, Ce= Conductivité électrique, CT= calcaire total, CA= Calcaire Actif, MO= Matière organique, N= Azote, P= Phosphore, K= potassium et Cd= Cadmium.

localisé du côté négatif de l'axe et contient les relevés 24 et 25 à contributions relatives respectives : 489‰ et 931‰.

La recherche de la signification de ces axes factoriels s'appuiera sur la forte contribution relative des variables édaphiques (carte factorielle 2 : fig. 4). Nous tenterons ainsi de préciser quels sont les facteurs écologiques majeurs qui réunissent les relevés d'un ensemble.

L'examen du plan de projection du nuage des points-variables (fig. 4) montre une forte contribution relative de l'argile (553‰), de la conductivité électrique (222‰) et du phosphore (202‰) dans la formation de l'axe 1 du côté positif et du calcaire actif (687‰) et du sable (220‰) du côté négatif de cet axe.

L'analyse de la même figure montre une forte contribution relative des limons (148‰) à la formation de l'axe 2 du côté positif et du cadmium (605‰) à la formation de cet axe du côté négatif.

La confrontation de la carte factorielle des relevés (Fig. 3) avec celle des variables (Fig. 4) permet donc d'identifier le premier axe à un gradient croissant d'argile, de salinité et de phosphore et un gradient décroissant de calcaire actif et de sable du pôle négatif vers le pôle positif.

Ce premier facteur oppose donc l'ensemble de relevés I (à fortes teneurs en argile, en salinité et en phosphore, et à faibles teneurs en calcaire actif et en sable) à l'ensemble II (à faibles teneurs en argile, en salinité et en phosphore, et à fortes teneurs en calcaire actif et sable).

Le deuxième axe représente un gradient croissant de limons et un gradient décroissant de cadmium du pôle négatif au pôle positif. Il oppose l'ensemble III, formé de relevés à fortes teneurs en limons et à faibles teneurs en cadmium, à l'ensemble IV formé de relevés à fortes teneurs en cadmium et à faibles teneurs en limons.

### 3.2- Résultat de l'analyse factorielle des variables floristiques.

Les taux d'inerties des cinq premiers axes sont respectivement de 30.19%, 20.37%, 10.63%, 7.0% et 6.56%. La structuration du nuage est relativement assez bonne le long des deux premiers axes. Ce nuage restitue 50.56% de l'information totale. Nous nous en tiendrons donc aux deux premiers axes pour cette analyse. Cette structuration est moins forte que celle du précédent traitement. Ceci peut s'expliquer par une faible hétérogénéité entre les relevés floristiques, due probablement à l'action anthropozoïque, représentée essentiellement par le surpâturage.

#### 3.2.1- Interprétation de la carte factorielle des relevés

L'examen de la carte factorielle 3 (Fig. 5) des relevés, illustrant les axes 1 et 2, permet de constater l'existence de quatre ensembles de relevés à fortes contributions relatives:

A= 24, 25.                      C = 18, 19, 20 et 22.  
B = 9 et 11.                    D = 8, 10 et 5.

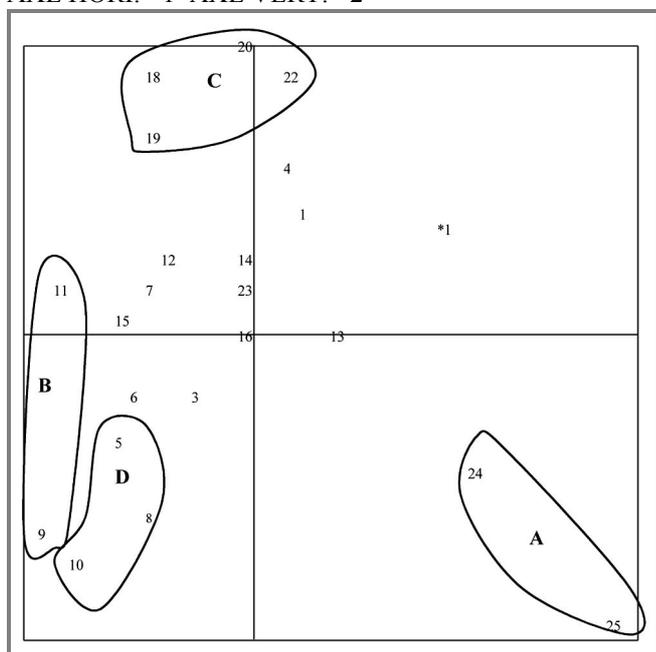
L'ensemble A, localisé du côté positif de l'axe 1, contribue fortement à la formation de ce facteur ; il contient les relevés 24 et 25 à contributions relatives respectives : 473 ‰ et 533 ‰.

**L'ensemble B**, situé du côté négatif de l'axe 1, contribue fortement à la formation de cet axe; il contient les relevés 9 et 11 à contributions relatives respectives: 246 ‰ et 112 ‰.

**L'ensemble C**, localisé du côté positif de l'axe 2, contribue fortement à la formation de ce facteur; il est formé des relevés 18, 19, 20 et 22 à contributions relatives respectives: 320 ‰, 110 ‰, 141 ‰ et 133 ‰.

**L'ensemble D**, situé du côté négatif de l'axe 2, contribue fortement à la formation de cet axe; il est constitué des relevés 8, 10 et 5 à contributions relatives respectives: 185 ‰, 215 ‰ et 172 ‰. Cet ensemble participe également à la formation de l'axe 1, mais avec des contributions moins élevées que l'axe 2 (respectivement 134 ‰, 111 ‰ et 53 ‰).

AXE HORI. =1 AXE VERT. =2



Points multiples :

\*1 : 17 -2.

**Figure 5:** Carte factorielle n°3 des relevés selon les axes 1 et 2 (analyse floristique).

Nous remarquons que ces ensembles de relevés sont différents de ceux (I, II et III) donnés par la première analyse factorielle des correspondances (seul l'ensemble IV est identique à l'ensemble A). En effet, nous pouvons dire que l'introduction des espèces dans cette deuxième analyse, comme points-variables, a modifié le regroupement des relevés et donc la signification des axes factoriels. Le regroupement des relevés par leurs cortèges floristiques et les affinités existant entre eux, suppose l'existence de nouvelles variables qui seraient différentes des variables édaphiques introduites dans la première AFC et qui seraient la cause de ce nouveau regroupement des relevés.

### Signification des axes factoriels

La recherche de la nouvelle signification des axes s'appuiera d'une part sur les résultats de la première analyse factorielle des correspondances, donc sur la

	Relevés	Surélévation / eau (m)	Eloignement / berge (m)	Re.l.h	Re. Sol	Humidité	Altitude (m)
St1	R1	0,5	0	0	90	Sec	660
	R2	1	10	10	70	Sec	660
St2	R3	1,5	1	50	80	Sec	650
	R4	0,5	0	75	80	Leg.H	650
St3	R5	0,5	0	0	70	Leg.H	650
	R6	3	4	70	80	H	650
	R7	5	6	60	70	Leg.H	650
St4	R8	1	0	0	90	H	650
	R9	3	1	50	70	Leg.	650
	R10	6	0	75	90	H	650
St5	R11	6	0	75	75	Sec	650
	R12	2	5	75	50	Sec	650
	R13	1,5	0	0	75	H	525
	R14	0,5	0	0	60	H	525
	R15	3	4	90	40	Sec	525
St6	R16	0	0	0	30	H	525
	R17	0,5	0	0	90	H	575
	R18	1,5	3	80	50	H	575
St7	R19	0,5	4	80	50	H	575
	R20	2	6	80	30	H	575
St8	R21	0,5	0	0	75	Sec	550
	R22	3	3	60	30	Sec	550
St9	R23	1,5	3	50	60	M.H	550
St10	R24	0,5	0	0	75	Sec	500
	R25	0	0	0	75	Sec	500

**Tableau 3:** Caractéristiques écologiques des relevés.

St : station ; R : relevé ; Re.l.h : Recouvrement des ligneux hauts ; Re.Sol : Recouvrement du sol ; H : Humide ; M : Moyenne ; Leg : légèrement ; m : mètre.

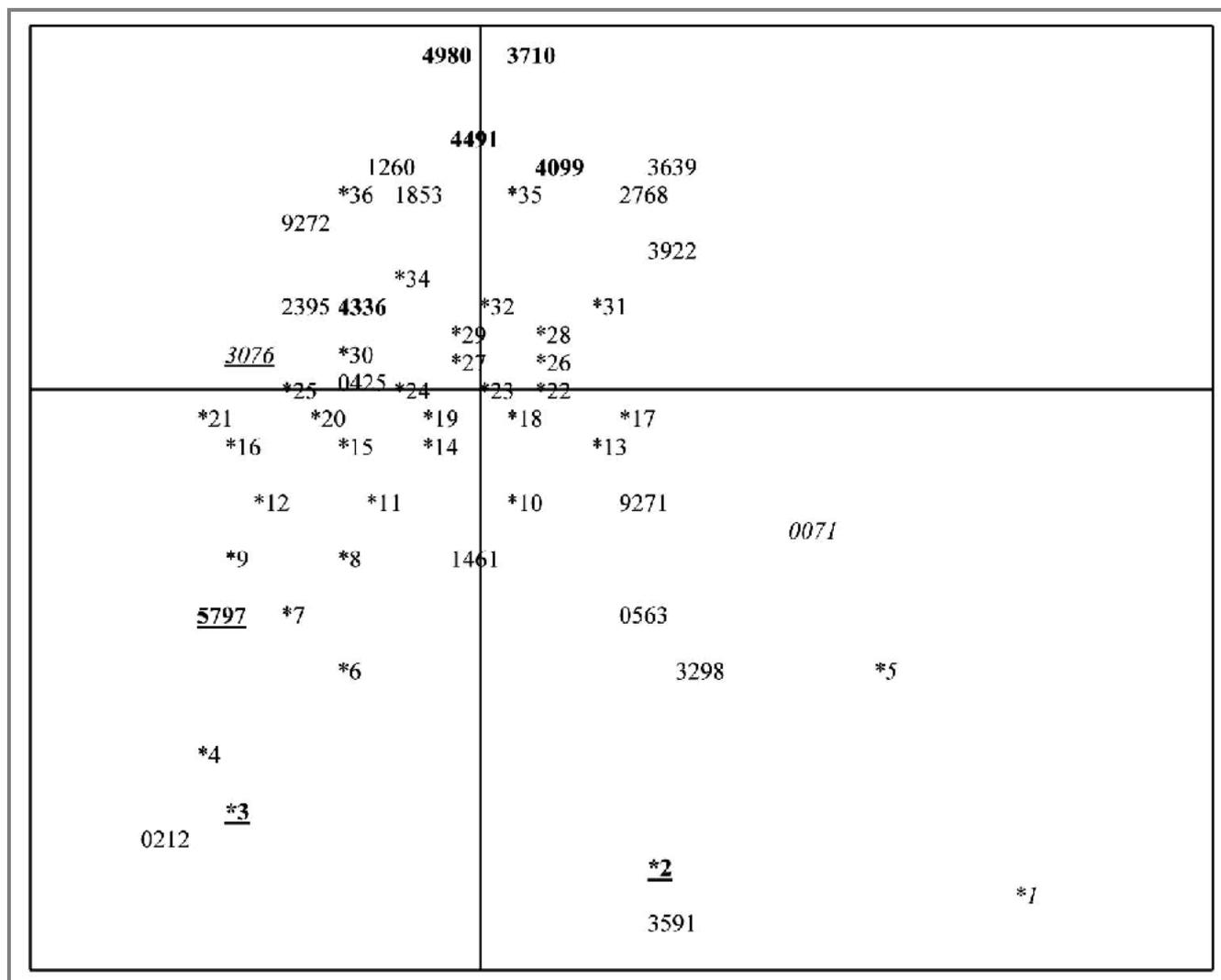
connaissance des caractéristiques édaphiques des relevés, et d'autre part, sur la connaissance des caractéristiques écologiques des relevés (Tab. 3).

### Signification de l'axe 1

L'ensemble A est formé par les mêmes relevés que l'ensemble IV (donné par la carte factorielle 1). Ces relevés sont caractérisés par des sols riches en cadmium. L'ensemble B est, par contre, formé de relevés caractérisés par des sols à faibles teneurs en cadmium. L'ensemble D, qui participe également à la formation de l'axe 1, correspond à des relevés dont les sols présentent des teneurs intermédiaires en cadmium (Fig.2). La consultation des caractéristiques écologiques des relevés (Tab. 3) nous permet de constater que les relevés de l'ensemble A sont au même niveau que l'eau, donc localisés dans la zone des basses eaux, alors que les relevés des ensembles B et D sont surélevés par rapport au niveau de l'eau et situés donc dans la zone des hautes eaux. L'axe 1 s'identifie donc à un gradient croissant de cadmium et décroissant de la surélévation par rapport au niveau de l'eau.

### Signification de l'axe 2

L'examen des caractéristiques écologiques (Tab. 3) permet de constater que l'axe 2 oppose l'ensemble C, formé de relevés éloignés des berges de l'oued, à l'ensemble D, constitué de relevés sur les berges de l'oued. Cet axe serait donc un gradient croissant de l'éloignement par rapport aux berges de l'oued.



Points multiples :

- \*1: 2237 -2881-
- \*2: **4628** -**3352**-
- \*3: **2689** -**2077**-**2830**-
- \*4: **1226** -1066-
- \*5: 2639 -4763-3391-
- \*6: 9264 -**3958**-
- \*7: **0667** -0632-
- \*8: **4694** -9267-
- \*9: 0610 -9273-2897-**5146**-
- \*10: 4058 -**5668**-
- \*11: 6164 -1337-
- \*12: 0977 -0663-**6329**-1786-3130-**3199**-**0377**-
- \*13: 4161 -2137-
- \*14: 1352 -2708-
- \*15: 2465 -1109-**2788**-
- \*16: 1634 -**5192**-9276
- \*17: 3723 -3257-
- \*18: 4679 -2018-0595-3204-
- \*19: 0552 -0051-0622-4162-1394-0549-
- \*20: 0735 -0082-2759-3600-0827-1511-
- \*21: **1876** -**2690**-**3898**-
- \*22: 3716 -3308-
- \*23: 2578 -0966-0226--6599-
- \*24: 1626 -0228-
- \*25: 3602 -3609-
- \*26: 3584 -2766-2730-1120-2138-9268-3954-
- \*27: **4430** -0673-3118-
- \*28: 1768 -6596-2686-
- \*29: **3395** -2581-9269-0664-**0050**-2017-**2715**-
- \*30: 1201 -0950-
- \*31: 0671 -3329-0042-
- \*32: 0672 -3105-
- \*33: 2575 -4504-**3403**-2890-
- \*34: 1866 -3951-1199-1378-0792-
- \*35: 4459 -**4477**-
- \*36: 3665 -5909

*Italique*: espèces du groupe à *Nasturtium officinale*.

**Gras**: espèces du groupe à *Scherardia arvensis*.

Italique souligné: espèces du groupe à *Eryngium triquetrum*.

**Gras souligné**: espèces du groupe à *Veronica anagallis*.

**Figure 6:** Carte factorielle n°4 des espèces selon l'axes 1 et 2.

### 3.2.2- Analyse de la carte factorielle des espèces

L'examen de la carte factorielle 4 (Fig. 6) montre l'existence de quatre groupes d'espèces à fortes contributions relatives :

-1<sup>er</sup> lot d'espèces, du coté positif de l'axe 1 : *Nasturtium officinale* (592%), *Agrostis gigantea* (632%), *Inula viscosa* (592%), *Lycium europaeum* (686%), *Xanthium spinosum* (686%) et *Polygonum serrulatum* (686%) ;

-2<sup>ème</sup> lot d'espèces, du coté négatif de l'axe 1 : *Eryngium triquetrum* (142%), *Minuartia geniculata* (189%), *Phalaris brachystachys* (107%), *Oryzopsis coerulescens* (102%), *Scandix pecten-veneris* (302%) et *Micropus supinum* (127%) ;

-3<sup>ème</sup> lot d'espèces du coté positif de l'axe 2 : *Sherardia arvensis* (217%), *Tamarix africana* (131%), *Populus alba* (183%), *Fraxinus angustifolia* (206%), *Rubus ulmifolius* (157%), *Trifolium michelianum* (123%), *Trifolium resupinatum* (134%), *Medicago minima* (298%), *Aegilops*

*triuncialis* (150%), *Torilis arvensis* (163%), *Polypogon monspeliensis* (134%), *Crataegus azarolus* (153%) et *Crataegus monogyna* (132%) ;

-4<sup>ème</sup> lot d'espèces, du coté négatif de l'axe 2 : *Veronica anagallis* (314%), *Marrubium supinum* (253%), *Coronilla scorpioides* (153%), *Scorpiurus sulcatus* (178%), *Vicia vilosa* (174%), *Polycarpon tetraphyllum* (313%), *Fumaria flabellata* (193%), *Bromus rigidus* (254%), *Marrubium alysson* (240%), *Herniaria hirsuta* (199%) et *Polygonum equisetiforme* (143%).

Le tableau 4 des groupes phytoécologiques fait ressortir les mêmes groupes d'espèces auxquels s'ajoutent les espèces présentes une à trois fois et qui n'ont pas été introduites dans l'analyse statistique. Ce sont :

-1<sup>er</sup> lot : *Ranunculus ophioglossifolius*, *Ptilostemon hispanicus* et *Chenopodium album* ;

-2<sup>ème</sup> lot : *Urtica pilulifera* ;

-3<sup>ème</sup> lot : *Ulmus campestris* et *Cerastium dichotomum* ;

Numéro des relevés		2	2	1	1	2	2	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	2	2	0	0	0	
Code et nom des espèces		5	4	9	8	2	0	1	9	0	5	8	3	5	7	2	3	6	7	6	4	3	1	2	4	1
<b>Groupe à <i>Nasturtium officinale</i></b>																										
2881	<i>Nasturtium officinale</i> R. Br.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
0071	<i>Agrostis gigantea</i> L.	1	1	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	
2639	<i>Lycium europaeum</i> L.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
4763	<i>Xanthium spinosum</i> L.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
3391	<i>Polygonum serrulatum</i> Lag.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
2237	<i>Inula viscosa</i> (L.) Ait.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
3586	<i>Ranunculus ophioglossifolius</i> Vill.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
7420	<i>Ptilostemon hispanicus</i> (Lam.) W. Greuter	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
1058	<i>Chenopodium album</i> L.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
<b>Groupe à <i>Scherardia arvensis</i></b>																										
4099	<i>Sherardia arvensis</i> L.	.	.	.	3	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
4336	<i>Tamarix africana</i> Poiret	.	.	.	3	2	2	4	1	+	.	.	.	.	1	+	1	.	.	.	.	.	.	1	.	
3403	<i>Populus alba</i> L.	.	.	.	1	1	1	1	+	.	+	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	
3710	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott	.	.	.	1	2	2	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	
4980	<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl	.	.	.	2	.	1	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
0050	<i>Aegilops triuncialis</i> L.	.	.	.	2	3	.	.	.	+	.	+	.	.	+	+	+	.	+	+	.	1	+	+		
4477	<i>Trifolium michelianum</i> Savi	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	
4491	<i>Trifolium resupinatum</i> L.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	
2715	<i>Medicago minima</i> (L.) Bartal.	.	.	.	2	2	3	2	1	+	1	+	.	.	+	+	1	+	1	+	+	+	1	+		
4430	<i>Torilis arvensis</i> (Hud.) Link.	.	+	.	3	2	.	3	1	.	1	+	+	.	+	1	+	+	1	+	+	1	1	.		
3395	<i>Polypogon monspeliensis</i> (L.) Desf.	.	.	.	3	.	2	4	+	.	.	+	+	.	.	1	1	1	+	+	+	1	1	.		
1258	<i>Crataegus azarolus</i> L.	.	.	.	1	.	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
1260	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq	.	.	.	3	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
4562	<i>Ulmus campestris</i> L.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
1016	<i>Cerastium dichotomum</i> L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	

Numéro des relevés	2 2 1 1 2 2 1 0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 1 1 1 2 2 0 0 0
Code et nom des espèces	5 4 9 8 2 0 1 9 0 5 8 3 5 7 2 3 6 7 6 4 3 1 2 4 1
<b>Groupe à Eryngium triquetum</b>	
5146 Eryngium triquetrum Vahl	. . . . . 4 3 . . . . .
5192 Minuartia geniculata (Poir.) Thell.	. . . + . . . 1 1 . . . + . . . + . . . . .
3199 Phalaris brachystachys Link	. . . . . 3 . + . . + . . . . . 1 . . . . .
3076 Oryzopsis coerulescens (Desf.) Richt.	. . . + . . . 2 . . 1 . + . . . . .
3898 Scandix pecten-veneris L.	. . . . . 2 3 . + . . . 1 + . + . . . . .
2788 Micropus supinus L.	. . . . . 2 . + . . + . + . . . . + . . . . .
4574 Urtica pilulifera L.	. . . . . + . . . . .
<b>Groupe à Veronica anagallis</b>	
4628 Veronica anagallis	. . . . . 3 4 . . . . .
2689 Marrubium supinum L.	. . . . . 1 . . 2 + . . . . .
1226 Coronilla scorpioides (L.) Koch	. . . . . 1 2 . . . . .
3958 Scorpiurus sulcatus	. . . . . 2 3 1 . . . . . + . . . . .
4694 Vicia villosa Roth	. . . . . 1 2 1 . + . . + . 1 + . . . . .
3352 Polycarpon tetraphyllum (L.) L.	+ . . . . . 1 2 . . . . .
6329 Marrubium alysson L.	. . + + . . . 1 . . 3 + . . . . .
0667 Bromus rigidus Roth	. . . . . 1 . 2 2 + . . . . 1 . . . + . . . .
5797 Fumaria flabellata Gaspar.	. . . . . + 1 2 1 2 . . . . . + . . . . .
2077 Herniaria hirsuta L.	. . . . . + 3 1 2 . . . . .
5668 Polygonum equisetiforme Sibth. & Sm.	+ + + . . . . + 2 2 1 + . . . . . + . . . +
2897 Nigella arvensis L.	. . . . . + . . . + . . . . .
3130 Paronychia argentea Lam.	. . . . 1 . . + + . + . . + . . . . .
1066 Chenopodium vulvaria L.	. . . . . + + . + . + . . . . .
0212 Ammi majus L.	. . . . . + . + . . . . .
6164 Carum foetidum (Coss. & Dur.) Benth. &	. 1 . . . 1 . + + . . + . . . . + . . . . .
1786 Filago germanica L.	. . . . . + + . + . + . . . + + . . . . .
1634 Eruca vesicaria (L.) Cav.	. . . . . + 1 . + . . . . . + . . . . .
0977 Centaurea nicaeensis All.	. . . . . + . + . + + . . . . . +
2690 Marrubium vulgare L.	. . . . . + . 2 1 . . . . + . . . . .
5909 Rosa stylosa Desv.	. . + + . + + . . . . + . + . . . . .
3665 Rosa synpervirens L.	. . + + . + + . . . . + . . . . .
1876 Galium tricorne Witt.	. . + . + . 1 3 2 . + . + + . . . . .
3951 Scleropoa rigida (L.) Gris.	. . + + . . . . + . . . . . + . . . . .
0792 Capsella bursa-pastoris (L.) Medicus	. . + + . . + . . + . . . . . + . . . . .
2395 Lathyrus annuus L.	. . . . . + . . . . . + . . . . .
1199 Convolvulus althaeoides L.	. . . + . . + . . . . . + . + . . . . +
4161 Sinapis arvensis L.	2 . + . . . . . + + . . . . . 1 . . . . +
1352 Cyperus longus L.	. . . . . 1 . . . . . 1
3298 Plantago coronopus L.	+ . . . . . + . . . . .
3591 Ranunculus sardous Crantz	+ . . . . . + . . . . .
2830 Moricandia arvensis (L.) Dc.	. . . . . 2 2 . . + . . . . .
1337 Cynodon dactylon (L.) Pers.	. . . . . 1 . + . . . . . 1 . . . . .
4679 Vicia lathyroides L.	. . . . . + . . . . . + . . . . .
2018 Hedysarum coronarium L.	. . . . . + . . . . . + . . . . .

Numéro des relevés	2	2	1	1	2	2	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	2	2	0	0	0	
Code et nom des espèces	5	4	9	8	2	0	1	9	0	5	8	3	5	7	2	3	6	7	6	4	3	1	2	4	1
1378Dactylis glomerata L.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1201Convolvulus cantabrica L.	.	.	+	+	.	.	+	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.
0425Phragmites communis Trin.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
3716Rumex acetosella L.	+	+	1	+	+	+	.	.	+	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1853Galium aparine L.	.	1	.	+	.	+	+	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	+	1	.	+	.	1
1260Crataegus monogyna Jacq.	.	.	3	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
1866Galium palustre L.	.	.	.	1	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
3584Ranunculus muricatus L.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0672Bromus sterilis L.	.	3	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	+	.	+	2	.	.	.	2	1	.	1	.	+
0663Bromus madritensis L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0610Bifora testiculata (L.) Roth	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3105Pallenis spinosa (L.) Cass.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1626Erodium malacoides (L.) L'her.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0051Aegilops ventricosa Tausch	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0622Borago officinalis L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4459Trifolium campestre Schreber	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3639scleropoa holeacea Gris.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2768Mentha rotundifolia L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2766Mentha pulegium L.	1	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0966Centaurea calcitrapa L.	.	+	.	+	1	.	.	+	+	+	1	1	.	.	.	.	.	.	.	+	1	+	1	.	.
2581Lolium temulentum L.	.	.	1	.	2	1	.	.	.	.	2	+	+	.	.	.	.	.	.	.	2	+	+	1	.
3922Scirpus holoschoenus L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0671Bromus squarrosus L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3329Poa annua L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2890Nerium oleander L.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4504Trifolium tomentosum L.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	+	+	+	1	3	1
6596Silybum marianum (L.) Gaertn.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	+	.	+
3204Phalaris paradoxa L.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3600Rapistrum rugosum (L.) All.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2708Medicago hispida Gaertn.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1109Chrysanthemum segetum L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3602Reseda alba L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3609Rhagadiolus stellatus (L.) Gaertner	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1511Echinops ritro L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2465Lepturus cylindricus( Willd). Trin.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0377Arenaria serpyllifolia L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0827Carduus pycnocephalus L.	.	2	.	1	.	.	.	.	.	.	1	+	1	.	.	.	.	.	.	.	1	2	.	+	1
0082Polypogon viridis (Gouan) Breistr.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0042Adonis annua L.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3257Picris echioides L.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9271Cirsium scabrum(Poiret.) Durand et Sch.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0563Avena sterilis L.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4058Senecio leucanthemifolius Poiret	1	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1461Diptotaxis erucoides (L.) Dc.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3723Rumex conglomeratus L.	2	2	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Numéro des relevés	2 2 1 1 2 2 1 0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 1 1 1 2 2 0 0 0
Code et nom des espèces	5 4 9 8 2 0 1 9 0 5 8 3 5 7 2 3 6 7 6 4 3 1 2 4 1
2137Hordeum maritimum With.	+ 1 . . . . . + . 1 . + . . . + . . . . + + + + + . 1
2730Medicago tribuloides Desr.	. 1 + . . . . . . 1 . . + . + + . + + + . . . . .
3308Plantago lagopus L.	+ + . 1 . . . . . . 1 + + + . + + 1 + + + 1 + . 2
2017Hedypnois rhagadioloides (L.) Willd.	. . 1 + . . + . . + 1 . 1 . + . + + + + + + . . . .
0228Anagallis arvensis L.	. . + . . . . + . + + + + + + + . + 2 . + + . + + 2
3118Papaver rhoeas L.	. . + . . . . + . + . . + + + . + + + + + + . + .
0950Carthamus lanatus L.	. . . + . . + 1 . . . . + . . . . + + . . + . .
0735Calendula arvensis L.	. . . . . + 1 . + + + + . + . + 1 + + . . . + .
0549Avena barbata Pott ex Link	. . . . . + + . + + . . . . + 1 + + . . . . .
2759Melilotus sulcata Desf.	. . . + . . + + + + + . + . + . . + . . + . .
1394Daucus carota L.	. 1 . 4 . . + + + + + . . + . . . . . + . . . +
4162Sinapis pubescens L.	1 . 1 . + . + + + + . + + + + + . + 1 + . . + .
0552Avena fatua L.	. 1 . . . . . + + . . + . . 2 . + . + . + . 1 + +
0226Anacyclus clavatus (Desf.) Pers.	1 . . + + . 1 + + 1 1 + 1 + . + + 1 1 + 1 1 + 1 1
1768Festuca pratensis Hudson	+ . 1 + . . . . . + . . . . + . . . . + . + + .
2138Hordeum murinum L.	+ 2 1 + + . 1 . . 2 2 2 + + + + 1 2 1 + 1 1 + 1 1
1120Cichorium intybus L.	+ + + + + . + . . + + + + . 1 + + + + + 1 . . + 1
2575Lolium multiflorum Lam.	. . . . . . . . . . . + . . . . . . . + . 1
2577Lolium remotum Schrank	. 1 1
0673Bromus tectorum L.	. 1 . + 2 . 1 + 2 . . + + + 2 . + + . . + + . 1 +
6599Onopordon arenarium	. 2 1 2 + . 2 + 1 2 3 + + 1 + . + 2 . . 1 . + 2 3
0595Beta vulgaris L.	+ + + . . + + 1 + + + 1 + 4 1 + + + . . 1 + + . 1
3954Scolymus hispanicus L.	+ + + + + 1 1 . + 1 + + + + . + 1 2 1 + 1 + + 1
2578Lolium rigidum Gaudin	+ 2 2 1 + + + + + 1 1 + + 1 + + 1 . + . + 3 2 1
2686Malva silvestris L.	. + . + 1 + . . . + + + + + + + + . + 1 1 + + +
0664Bromus hordeaceus L.	. . . + . . . . . + . + + . . . 1 . 2 . . + . .
4185Smyrniolum olusatrum L.	. + . . . . . . . + . . . . . . . . . . . . . .
0098Ajuga reptans (L.) Schreber	. . . . . . . . . + . . . . . . . . . . . . . .
0164Alopecurus geniculatus L.	. + . . . . .
0632Brachypodium distachyum (L.) P.B.	. +
0633Brachypodium phoenicoides (L.) Roemer & Schultes	. + . . . . .
0662Bromus lanceolatus Roth	. + . . . . .
1197Conringia orientalis (L.) Dumort.	. 1 . . . . .
2125Hippocrepis unisiliquosa L.	. + . . . . .
2195Hypochoeris radicata L.	. + . . . . .
2368Lagurus ovatus L.	. + . . . . .
2705Medicago ciliaris (L.) All.	. . . . . + .
2719Medicago orbicularis (L.) Bartal.	. . . . . . . . . . . + .
2786Micropus bombycinus Lag.	. + . . . . .
2938Oenanthe silaifolia Bieb.	. + . . . . .
3592Ranunculus sceleratus L.	. + . . . . .
3894Scabiosa arthropurpurea L.	. + . . . . .
7514Sonchus arvensis L.	. + . . . . .
5248Anagallis monelli L.	. + . . . . .
5257Bupleurum balansae B. &r.	. + . . . . .
5844Raphanus sativus L.	. + . . . . .

**Tableau 4:** Mise en évidence des groupes écologiques plurifactorielles.

### 3.2.3- Détermination des groupements phytoécologiques

La superposition de la carte factorielle des espèces (Fig. 6) sur la carte factorielle des relevés (Fig. 5) permet de retrouver les caractéristiques écologiques des groupes d'espèces déterminées auparavant.

Le premier lot d'espèces (groupe à *Nasturtium officinale*) correspond à l'ensemble de relevés A. Il est donc formé d'espèces supportant des taux élevés de cadmium dans les sols, et situées dans les zones des basses eaux. Parmi ce groupe d'espèces, *Agrostis Stolonifera* est, selon Bouzile [23], aquatique ou subaquatique et témoigne des faibles sodicités du milieu.

Le deuxième lot d'espèces (groupe à *Eryngium triquetrum*) correspond à l'ensemble de relevés B. Il est de ce fait formé d'espèces qui préféreraient des substrats pauvres en cadmium et situées dans les zones des hautes eaux.

Le troisième lot d'espèces (groupe à *Sherardia arvensis*) correspond à l'ensemble de relevés C. Il est constitué, en grande partie, d'espèces caractéristiques des groupements forestiers à *Tamarix*, *Populus alba* et *Ulmus campestris* qui préfèrent s'installer sur les sols éloignés des berges de l'oued. Parmi ce groupe d'espèce, *Medicago minima* est, selon Loisel *et al.* [24], une espèce baso ou neutrophile généralement calcicole.

Le quatrième lot d'espèces (groupe à *Veronica anagallis*) correspond à l'ensemble de relevés D. Il est formé d'espèces qui préféreraient s'installer sur les sols des bordures surélevées et limitrophes de l'oued et qui supportent des teneurs moyennes en cadmium dans les sols.

### CONCLUSION GENERALE

Les sols des berges de l'oued Rhumel, en amont de la confluence des Oueds Rhumel et Boumerzoug, sont, pour la plupart, limoneux à argilo-limoneux, calcaires, avec de faibles taux de calcaire actif, légèrement alcalins et légèrement salins.

Ils présentent, en moyenne, des teneurs satisfaisantes en matière organique, moyennement riches en azote, faibles en phosphore assimilable et en potassium échangeable.

L'ensemble de ces facteurs édaphiques varie peu d'un relevé à l'autre, faisant apparaître une faible hétérogénéité des sols étudiés.

L'évaluation du niveau de contamination métallique des sols a révélé des teneurs non contaminantes en Cr, contaminantes mais non inquiétantes en Cu, Zn et Pb, et très alarmantes en Cd. Ces dernières dépassent de loin les normes, dans 72% des sols, atteignant jusqu'à 15.6 mg/kg<sup>-1</sup>, et font apparaître, pour la plupart d'entre eux une sévère pollution. Celle-ci concerne aussi bien les sols en amont des unités industrielles que ceux qui se trouvent à leur aval. Elle peut être aussi bien la conséquence des eaux usées domestiques et industrielles que celle de l'utilisation irrationnelle des engrais phosphatés dans les terres agricoles qui bordent l'oued Rhumel.

Cette pollution est d'autant plus alarmante que les berges de l'oued Rhumel sont utilisées comme pâturage. Une telle pratique devrait donc être interdite, en particulier

dans les stations 3 et 10.

L'analyse de la végétation riveraine de l'oued Rhumel a permis de montrer que ce sont les facteurs écologiques «surélévation par rapport au niveau de l'eau», «éloignement des berges» et «teneur en cadmium du sol» qui agissent de façon prépondérante dans la répartition des espèces végétales le long de ce cours d'eau.

Cette analyse a mis en évidence l'existence de quatre groupes d'espèces à étroites affinités écologiques :

-Le groupe à *Nasturtium officinale*, composé d'espèces préférantes des sols à fortes teneurs en cadmium et situées dans les zones des basses eaux, à savoir : *Nasturtium officinale*, *Agrostis gigantea*, *Lycium europaeum*, *Xanthium spinosum*, *Polygonum serrulatum*, *Inula viscosa*, *Ranunculus ophioglossifolius*, *Ptilostemon hispanicus* et *Chenopodium album* ;

-Le groupe à *Eryngium triquetrum*, composé d'espèces inféodées à des substrats pauvres en cadmium et situés sur les zones des hautes eaux, c'est-à-dire : *Eryngium triquetrum*, *Minuartia geniculata*, *Phalaris brachystachys*, *Oryzopsis coerulescens*, *Scandis pecten-veneris*, *Micropus supinus*, et *Urtica pilulifera* ;

-Le groupe à *Sherardia arvensis*, composé d'espèces des groupements forestiers à *Tamarix*, *Populus alba* et *Ulmus campestris*, et qui préfèrent des sols en retrait des berges de l'oued. Ce sont : *Sherardia arvensis*, *Tamarix africana*, *Populus alba*, *Rubus ulmifolius*, *Fraxinus angustifolius*, *Trifolium michelianum*, *Trifolium resupinatum*, *Medicago minima*, *Aegilops triuncialis*, *Torilis nodosa*, *Polypogon monspeliensis*, *Crataegus azarolus*, *Ulmus campestris* et *Cerastium dicotomum* ;

-Le groupe à *Veronica anagallis*, composé d'espèces installées sur des sols proches des berges de l'oued et possédant un fort recouvrement ; Il s'agit de : *Veronica anagallis*, *Marrubium supinum*, *Coronilla scorpioides*, *Scorpiurus sulcatus*, *Vicia vilosa*, *Polycarpon tetraphyllum*, *Fumaria flabellata*, *Bromus rigidus*, *Marrubium alysson*, *Herniaria hirsuta* et *Polygonum equisetiforme*.

Cette étude nous aura permis d'établir un premier diagnostic du niveau de contamination de la portion sud de l'oued Rhumel et de son impact sur la végétation. Afin de déterminer l'étendue d'une telle contamination, nous envisageons d'étendre ce travail à l'ensemble du bassin versant Oued Kébir-Rhumel et de mettre en évidence les taux de transfert des éléments métalliques vers les plantes et donc l'éventualité de la contamination des niveaux trophiques supérieures.

### REFERENCES

- [1]- Gehu J.M., Kaabeche M. et Gharzouli R., "Observation phytosociologique dans le Nord-Est de l'Algérie", *Phytocoenologia*, 24, (1994), pp. 369-382.
- [2]- Mehenaoui-Afri F.Z., "Contribution à l'étude physico-chimique de l'Oued Kébir-Rhumel et de ses principaux affluents", Mém. Mag. Ecologie, Université de Constantine, (1998), 237 p.
- [3]- Djeddi H. et Laouar H., "Pollution métallique et qualité biologique par les macro-invertébrés de l'Oued Rhumel dans

- la zone urbaine de Constantine", Mém. Ing. Ecologie, Université de Constantine, (2001), 106 p.
- [4]- Mebarki A., "Ressources en eau et aménagement en Algérie. Le bassin du Kebir- Rhumel", O.P.U., Alger, (1984), 302 p.
- [5]- Guinochet M., "La phytosociologie", Masson, Paris, (1973), 277p.
- [6]- Aubert G., "Méthodes d'analyse des sols", Centre de documentation pédagogique, Marseille, (1978), 191 p.
- [7]- Drouineau G., "Méthode rapide d'appréciation du pouvoir chlorosant des sols calcaires", *Ann. Agr.*, (1943), pp. 16-18.
- [8]- Nelson D.W. and Sommers L.E., "Total carbon, organic carbon, and organic matter", *In* : Page A.L. (ed.), "Methods of Soils Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties-agronomy", Monograph N°9, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA; (1982), pp.539-579.
- [9]- Olsen S.R. and Dean L.A., "Phosphorus", *In* : Black C.A. (ed.), Methods of soil analysis. Part 2, Agron. N°9, Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, (1965), pp. 1035-1049.
- [10]- Hoening M., Dupire S. and Wollast R., "L'atomisation électrothermique en spectrométrie d'absorption atomique et son application dans les études de l'environnement", Techniques et documentations, Paris, (1979).
- [11]- Publications du Ministère de la Coopération, "Mémento de l'agronome", Collection Techniques rurales en Afrique, (1974), 1591 p.
- [12]- A.F.E.S., "Référentiel pédologique 1992. Principaux sols d'Europe", Ed. I.N.R.A., (1992), 222 p.
- [13]- Duchaufour P., "Pédologie : Pédogénèse et classification", T1, 2°ed, Masson, Paris, (1980), 477 p.
- [14]- Coppenet M. et Juste C., "Oligoéléments indispensables à la vie des plantes. Phénomènes de toxicité", *In*: Bonneau M. et Souchier B., "Pédologie : Constituants et propriétés", T2, Masson, Paris, (1979), pp 408-415.
- [15]- Baize D. et Jabiol B., "Guide pour la description des sols", Ed. I.N.R.A., Paris, (1995), 375 p.
- [16]- Duthil J., "Elément d'écologie et d'agronomie", T1, Ed. Ballière et fils, (1970), 315 p.
- [17]- Lasnier-Lachaise L., "Agronomie nouvelle", Ed. Flammarion, Paris, (1973), 347 p.
- [18]- U.N.E.P. (programme des Nations Unies pour l'Environnement), "Application de la décision 1/19 de la première réunion de la conférence des parties sur les directives techniques pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux visés par la convention de Bâle", Rapport de secrétariat, (1994), 215 p.
- [19]- Horowitz A.J., Meybeck M., Idlafkih Z. and Biger E., "Variations in trace element geochemistry in the Seine River Basin based on floodplain deposits and bed sediments", *Hydrol. Process*, 13, (1999), pp. 1329-1340.
- [20]- Baechle H.T. and Wolstein F., "Cadmium compounds in mineral fertilisers", Proceedings of the fertiliser society, 187, (1985), pp. 10-18.
- [21]- Kloke A., "Richwerte'80, orientierungsdaten für toletierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden", Mitt. VDLUFA, H.2, (1980), pp. 9-11.
- [22]- Lacatusu R., "Appraising levels of soil contamination and pollution with heavy metals", *In* : Heinike, Eckelman, Thomasson, Jones, Montanarella, Buckley, "Land Information system for Planning the Sustainable Use of Land Resources", European Soil Bureau, Research Report N°4, (1998), pp. 393-402.
- [23]- Bouzile J.B., "Structure et dynamique des paysages, des communautés et des populations végétales des marais de l'Ouest", Thèse de Doct. Univ. Rennes I, (1992), 293 p.
- [24]- Loisel R., Aubert G., Berkani A., Gomila H. et Rolando C., "Relations sol-végétation dans le vignoble de Vidauban (Var), I. Analyse phytoécologique", Annales de la S.S.N.A.T.V., 42, (1990), pp. 35-51. □