

Utilisation d'un nouvel indice d'évaluation de la contamination métallique des sédiments: cas du bas Sebou (Maroc)

Mohammed FEKHAOUI, Laila BENNASSER

& Mostafa BOUACHRINE

Mots-clés : Sebou, Gharb, sédiments, pollution métallique, indices de contamination.

ملخص

استعمال مؤشر جديد لتقييم التلوث المعدني : حالة ساقلة نهر سبو (المغرب). يندرج هذا العمل في إطار برنامج دراسة وتتبع أثر الأنشطة الصناعية بسهل الغرب على جودة المياه السطحية بأسفل نهر سبو بالمغرب، وتعتمد على تحليل وتقييم التلوث المعدني لرسوبات النهر وروافده وذلك باستعمال مؤشر التلوث المصحح. كشفت التغيرات الزمكانية لتركيز معادن Al Hg, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cr عن وجود تلوث معدني، خصوصا بالنسبة لمعادن Pb, Cr, Hg أما في مصب النهر حيث التركيزات المعدنية مرتفعة بشكل غير مألوف، تتعقد الوضعية بسبب عملية المد والجزر.

RESUME

Ce travail, s'insère dans le cadre d'un programme d'étude et de suivi de l'impact des activités industrielles de la plaine du Gharb sur la qualité des eaux superficielles du bas Sebou (Maroc) ; il porte sur l'analyse et l'évaluation de la contamination métallique des sédiments de ce cours d'eau et de ses affluents par l'utilisation d'un indice de contamination corrigé (Icc). Les variations spatio-temporelles de la teneur des sédiments en Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cr et Hg révèlent la présence d'une contamination métallique importante, dominée le plus souvent par le Cr, le Pb et le Hg. Cependant au niveau de l'embouchure où les teneurs métalliques sont anormalement élevées, la situation se complique par le jeu de marée (apports des eaux marines).

ABSTRACT

The assessment of the heavy metals contamination of the sediments in a Moroccan river: lower part of the Sebou. The heavy metals contamination of sediments in the lower Sebou were studied to determine the degree of contamination of the middle and to assess the extent of anthropogenic input. The areal and temporal distribution of these metals and the use of the contamination index showed very important metallic contamination principally by the Cr; Pb and Hg. Nevertheless, the situation was very complicated in the month river by the tides with the mobilisation possibilities of the metals in the aqueous system.

INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années, la contamination métallique des écosystèmes aquatiques a attiré l'attention de chercheurs d'horizons très différents. Elle constitue en effet l'un des aspects de la pollution la plus menaçante pour ces milieux. Par ses effets néfastes, elle pourrait engendrer des situations critiques voire dangereuses affectant parfois l'équilibre écologique de ces écosystèmes. Contrairement à de nombreux polluants organiques, les métaux lourds ne sont pas éliminés par voie biologique, ce qui favorise leur effet cumulatif dans les divers compartiments de l'écosystème (eau, sédiment, faune et flore).

Cependant, se pose le problème du choix de la méthode d'approche pour l'évaluation du degré de contamination d'un site donné bien que plusieurs méthodes ont été proposées à ce sujet (BOUST & al., 1981, BELAMIE & al., 1982; SNOUSSI 1984, ROSSO & al., 1993).

Dans le cadre de cette étude, nous avons adopté l'indice de contamination proposé par Belamie & al. (1982), mais corrigé par rapport à la teneur des sédiments en matière organique. Pour se faire, nous avons réalisé un suivi spatio-temporel de la teneur de huit éléments métalliques; Fe, Al, Zn, Mn, Cu, Cr, Pb et Hg dans les sédiments du Bas Sebou. Le choix des sédiments réside dans le fait qu'ils reflètent dans une grande mesure les divers processus physico-chimiques ayant eu lieu non seulement en milieu aquatique, mais aussi à l'échelle du bassin (PASTERNAK, 1969).

MILIEU ET METHODES

Situé dans la partie nord-ouest du Maroc, le Sebou prend ses sources au Moyen Atlas. Il traverse le long de son parcours des terrains essentiellement calcaires et marno-calcaires. Le bas Sebou (fig. 1), cours d'eau d'une importance socio-économique capitale pour les habitants

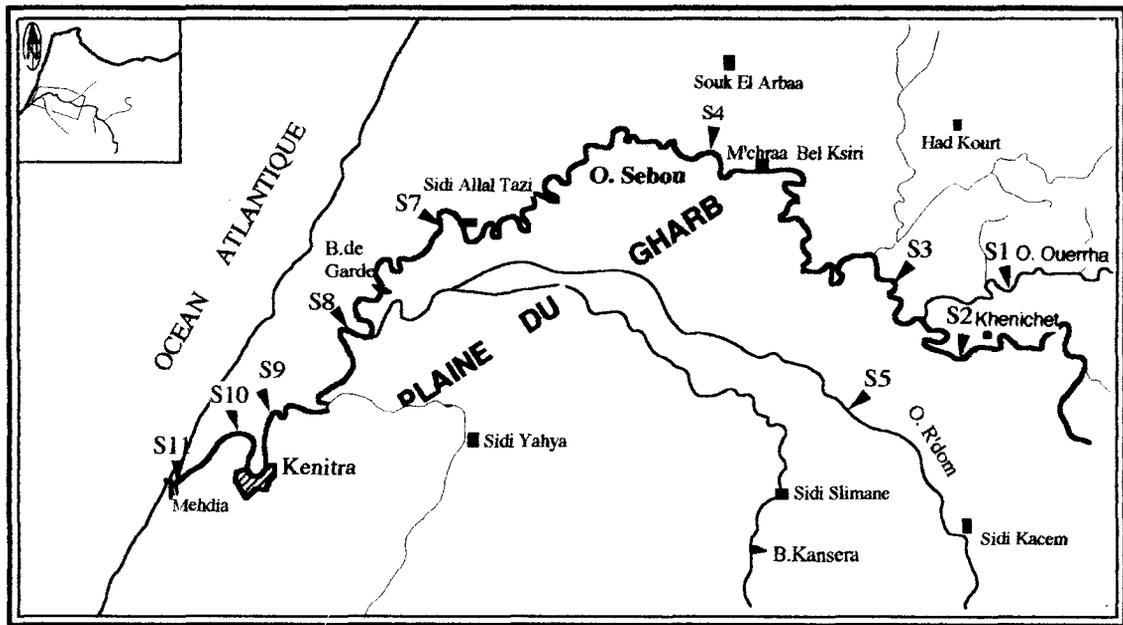


Figure. 1: Secteur d'étude et localisation des stations de prélèvement.

de la plaine du Gharb (1.5 Millions d'habitants) (irrigation, industries, eau potable,...), connaît une forte pression engendrée par les rejets permanents et sans traitement préalable des unités industrielles (sucreries, papeteries, raffineries, tanneries, ...) et des agglomérations avoisinantes (villes de Kénitra, Sidi Slimane, Sidi Kacem, Sidi Allal Tazi, ...).

Parmi les nombreux facteurs climatologiques, la température et les précipitations jouent un rôle primordial dans le régime d'écoulement (ROSSILLON, 1984). La zone d'étude est soumise à un climat de type méditerranéen qui se caractérise par des hivers doux avec des températures minimales de l'ordre de 12°C et des étés chauds avec des températures maximales de l'ordre de 28°C. Quant aux précipitations, elles sont irrégulières au cours d'une même année et d'une année à une autre. La saison humide s'étend en général entre Novembre et Mars. La sécheresse est quasi-totale entre Juin et Septembre 92 (Fig. 2). Cependant, la période d'étude comparée à une période de référence, montre un déficit hydrique important qui se reflète fidèlement sur le régime hydrologique du cours d'eau (fig. 3).

En effet, le régime d'écoulement du Sebou est marqué par une alternance de crues et d'étiages parfois sévères. Malgré cette variabilité, le débit reste très influencé par les prélèvements d'eau essentiellement pour des fins industrielles et agricoles. Il se caractérise par un débit moyen d'écoulement durant la période

d'étiage de 22.8 m³/s pour le Sebou, de 7.4 m³/s pour l'Oued Ouerrha et de 2 m³/s pour l'Oued Beht.

Pour l'évaluation du degré de contamination métallique des sédiments du bas Sebou, quatre campagnes de prélèvement ont été assurées durant les mois d'Octobre 1991, de Janvier, d'Avril et de Juillet 1992 au niveau de onze stations dont une située sur l'oued Ouerrha, une sur l'oued Beht, une sur l'oued R'dom et les huit autres sur le cours principal du bas Sebou (fig. 1).

Les sédiments destinés aux analyses ont été prélevés à l'aide d'un outil non métallique, dans des zones à sédimentation calme et riches en matériaux fins et en dépôts organiques. La minéralisation du sédiment qui consiste en une attaque acide pour détruire la matière organique, a été assurée selon la voie humide. Au laboratoire, elle a été réalisée après séchage et broyage du sédiment, dans des béciers en présence d'un mélange d'acide nitrique/acide chlorhydrique pur (2v/1v) puis chauffés sur une plaque à 70°C environ pendant deux heures, tout en étant recouverts par des verres de montre afin de condenser la vapeur. Le chauffage se poursuit jusqu'à disparition totale des vapeurs nitreuses rousses et apparition de fumée claire. Ensuite, les échantillons sont évaporés à sec. Le minéralisât est repris par rinçages successifs avec de l'eau distillée puis filtrés et complétés à un volume final de 100 ml.

Le dosage des métaux dans les surnageants a été effectué par spectrométrie d'absorption atomique en flamme et en four pour les faibles concentrations.

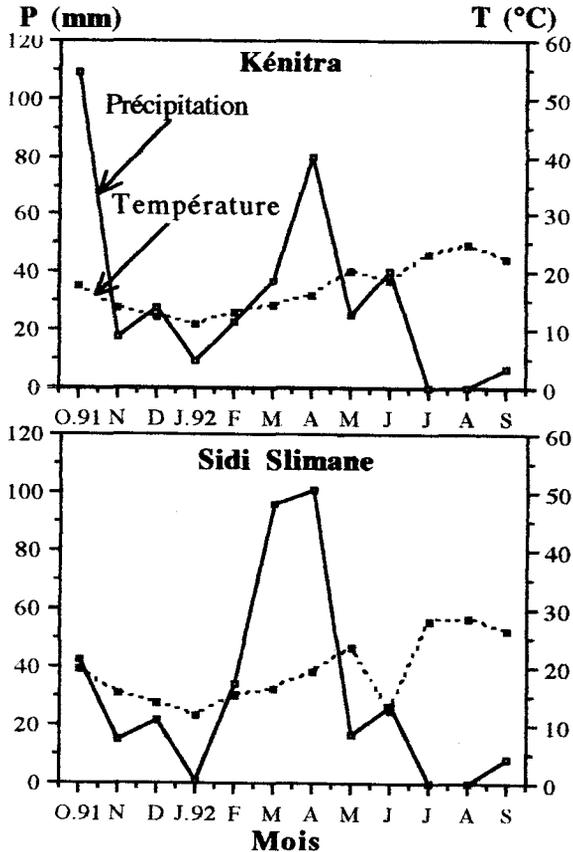


Figure 2: Variations de la température et des précipitations enregistrées dans la plaine du Gharb.

L'estimation de la matière organique dans les sédiments a été déterminée par pesées préférentielles après calcination de 5g de sédiment dans un four à moufle porté à 550°C pendant six heures.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Une première approche concernant l'état actuel de la qualité physico-chimique des eaux superficielles du bas Sebou et de ses affluents, témoigne de la présence d'une forte charge organique ainsi qu'un important déficit en oxygène dissous particulièrement à l'aval immédiat des points de rejet. Cette situation est rendue critique en période d'étiage par défaut de dégradation de la matière organique qui pourrait suggérer la présence de substances inhibitrices de l'activité bactérienne (métaux lourds).

Vers l'aval au niveau de l'embouchure, le cours d'eau n'arrive pas à récupérer ses qualités naturelles, au contraire la situation s'aggrave par le jeu des marées qui constitue un handicap majeur à l'évacuation aisée de la

charge polluante totale (Fekhaoui & al. 1993) tout en favorisant la décantation, la floculation de nombreux éléments charriés qui viennent s'ajouter à l'ensablement des chenaux gênant ainsi l'activité portuaire de ce cours d'eau.

Les résultats obtenus illustrés par les figures 4, 5, 6 et 7 révèlent l'existence d'une contamination métallique qui se caractérise par une variabilité spatio-temporelle importante. Par ailleurs, la teneur des sédiments en métaux témoigne d'une grande variation spatiale associée le plus souvent à celle de leurs teneur en matière organique.

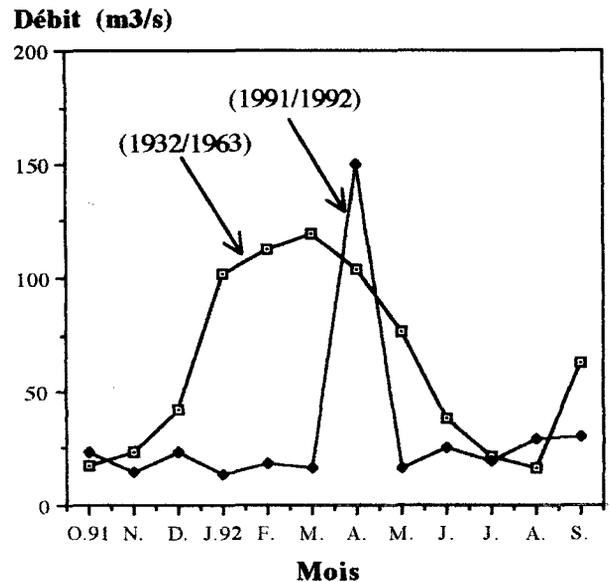


Figure 3: Débits mensuels du Sebou durant la période d'étude comparés à la période de référence.

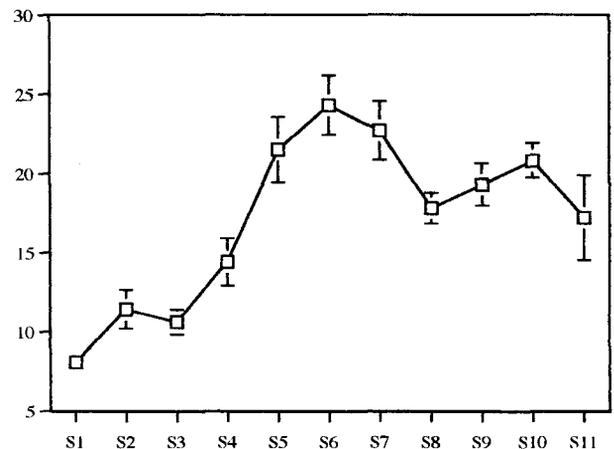


Figure 4: Variations spatiales de la teneur en matière organique des sédiments (%) ($P < 0,01$).

MATIERE ORGANIQUE

Le suivi de la matière organique (fig. 4) montre des teneurs faibles en amont (1.5 à 5.5%) et élevées à l'aval des agglomérations telles que Sidi kacem (S5) et Sidi Slimane (S6) (20 et 25% respectivement). Cependant cette charge diminue à l'aval de la ville de Kénitra malgré son importance démographique et industrielle (10 à 20%). Cette situation est à corrélérer à la différence de la vitesse d'écoulement dans le cours principal (Sebou) et ses affluents (Beht et R'dom). En effet la macro pollution se présente en majeure partie sous forme de matériaux insolubles grossiers (fibres végétales, débris animaux...) à forte tendance à décanter facilement dans les milieux calmes à faible débit, cas de l'Oued R'dom (S5) et l'Oued Beht (S6), contrairement aux milieux agités à fort débit où la situation se complique par la remontée de la marée avec une remise en suspension quasi permanente de sédiments en grande partie fins, vaseux (c'est le cas de l'estuaire S9 et S10).

INDICE DE CONTAMINATION METALLIQUE:

L'interprétation et l'évaluation de la contamination d'un sédiment reste tributaire d'une connaissance des teneurs de références, difficile à établir en raison de leur grande hétérogénéité liée aux facteurs géochimiques et lithologiques des sédiments (BELAMIE & al. 1982). A ces facteurs s'ajoutent les disparités dues aux méthodes analytiques préconisées. Par ailleurs, les teneurs de référence doivent être établies à l'échelle régionale sur un site dépourvu de toute pollution anthropique (BOUST & al., 1981). C'est ainsi que BELAMIE & al. (1982) évaluent le degré de contamination par comparaison aux valeurs de référence en calculant pour chaque site donné et par métal, un indice de contamination (I_c) égal à :

$$I_c = \frac{\text{teneur du métal}}{\text{teneur de référence}}$$

et un indice moyen (I_m) : $I_m = \frac{\sum I_c}{n}$

ROSSO & al. (1993) suivent le même raisonnement en proposant un indice de contamination comme étant égal au rapport de la teneur mesurée sur la teneur de référence.

Dans le cadre de cette étude, c'est ce dernier indice que nous avons retenu en considérant la station 1 comme référence. En effet celle ci située sur l'Oued Ouerrha loin de toute perturbation humaine présente les plus faibles teneurs en métaux par rapport à celles des autres stations (fig. 5). D'autre part ces valeurs moyennes de référence s'insèrent dans la gamme proposée par de nombreux auteurs (FEKHAOUI 1990, VERNET & al. 1976, SERODES 1978, TURKIAN & al. 1961 MATHIS & al. 1973, HAKANSON, 1984, ...).

L'importance de la charge organique mise en évidence dans les sédiments et l'effet chélateur développé par celle ci vis-à-vis des métaux, nous ont poussé à reconsidérer la méthode d'évaluation de la contamination dans les différents sites. C'est ainsi que nous avons adopté un indice de contamination corrigé (I_{cc}) qui tient compte à la fois de la teneur en matière organique de référence (M?D.R.) et de celle mesurée dans les autres stations (matière organique mesurée (MOM) . Ceci dans le but de finaliser et de standardiser les résultats afin de présenter une image proche de la réalité.

$$I_{cc} = I_c \times \frac{\text{teneur MOR}}{\text{teneur MOM}}$$

Les résultats enregistrés témoignent d'une contamination généralisée sur l'ensemble des sites étudiés (fig. 5) avec une augmentation importante au niveau des stations S5, S6, S9 et S10 situées en aval des grandes agglomérations et unités industrielles. Leur indice moyen de contamination corrigé (I_{ccm}) atteint des valeurs respectives de l'ordre de 3.03, 2.67, 3.02 et 2.92. L'analyse de ce dernier met en évidence la présence d'une pollution polymétallique dominée selon les rejets par un ou deux éléments (Fig. 6).

La comparaison et la classification des stations selon leur indice moyen de contamination corrigé I_m dégagent l'ordre d'importance suivant :

$$I_{mS5} > I_{mS9} > I_{mS10} > I_{mS6} > I_{mS7} > I_{mS8} > I_{m2} > I_{mS3} > I_{mS11} > I_{mS4}$$

Cette classification ne suit pas la distribution longitudinale des stations et témoigne d'une contamination ponctuelle de celle-ci.

Par ailleurs, l'analyse détaillée de la contamination relative, montre que le mode de distribution et d'accumulation de ces éléments reste différents les uns des autres.

C'est ainsi que l'aluminium, élément conservatif insensible aux variations physico-chimiques du milieu notamment de la salinité (BELAMIE & al. 1982; BOUST & al, 1981) présente comme le fer et le manganèse un I_{cc} élevé au niveau des stations S5, S6, S9 et S10. Cependant l'écart entre l' I_{cc} de la station de référence et celui de la station la plus contaminée reste peu significatif, il ne dépasse guère 1.9 pour l'Al, 1.66 pour le Fe et seulement 1.61 pour le Mn (fig. 7). Leur présence est en fait liée à la structure des silicates qui font partie des constituants majeurs des sédiments (WELKEN & al. 1987). De même, le fer et le manganèse qui sont considérés comme éléments importants pour le pouvoir complexant d'un sédiment, se présentent généralement sous forme d'hydroxydes insolubles pouvant ainsi entraîner en plus de leur propre accumulation celle des autres

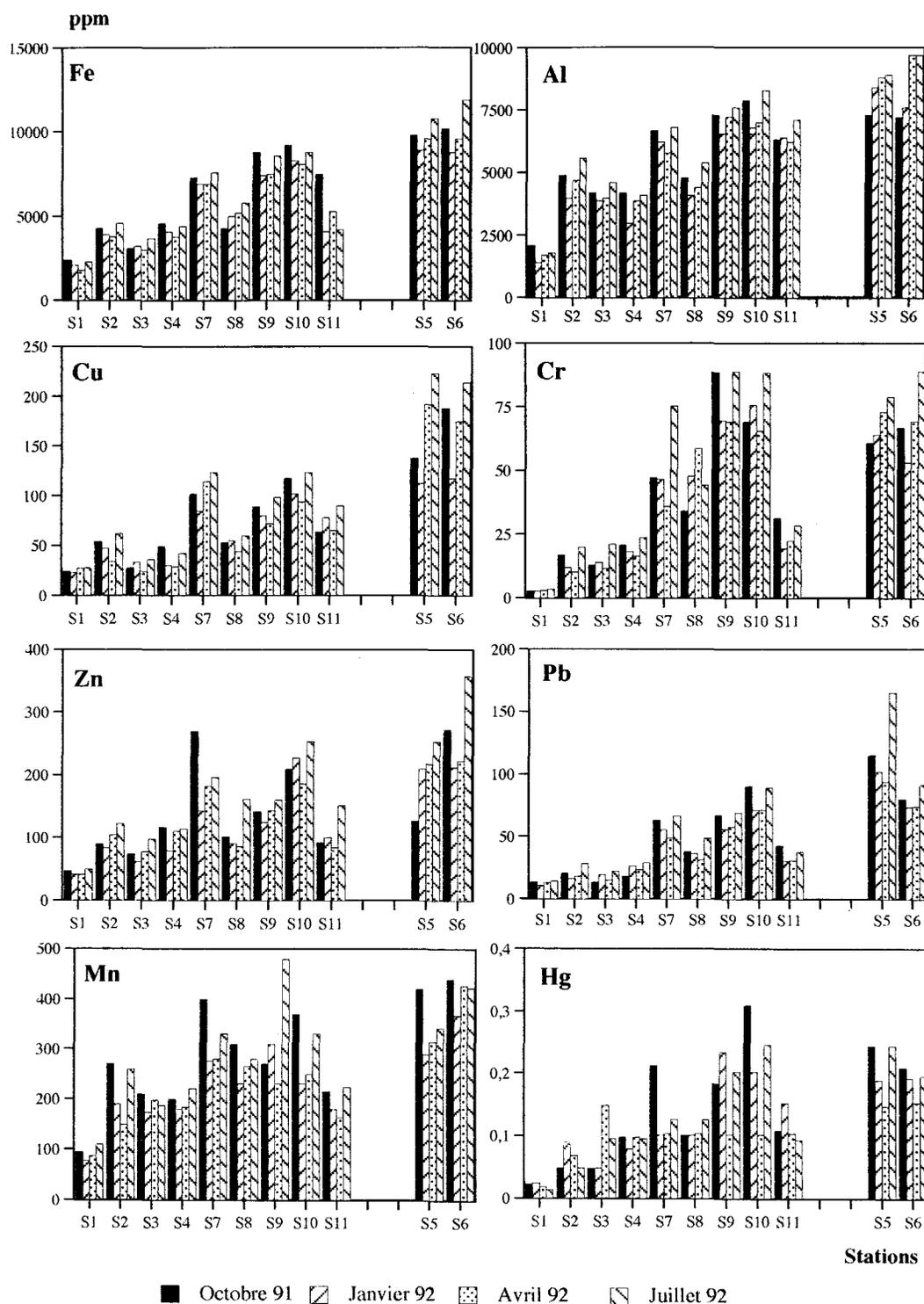


Figure 5 : Variations spatio-temporelles des teneurs métalliques des sédiments.

métaux (FÖRSTNER & *al.* 1979). Ceci n'exclue pas l'existence d'une part non négligeable de contamination dues aux activités industrielles nombreuses dans la région. Ces multiples origines peuvent être en effet un argument probable de cette distribution spatiale aussi répandue et diffuse de ces éléments dans le secteur.

Quand au plomb, au chrome et au mercure, les résultats obtenus montrent une contamination importante par rapport aux teneurs enregistrées au niveau de la station de référence. A l'inverse de l'Al, du Fe et du Mn, leur Icc connaît une augmentation importante aux niveaux des stations S5, S6 et S10 avec des valeurs atteignant 10.7 pour le Cr, 3.5 pour le Pb et 4.06 pour le Hg (fig. 7). Cette situation reflète l'effet des rejets des unités industrielles (papeteries, tanneries, raffineries, ...) véhiculés par les eaux du bas Sebou et de ses affluents. S'ajoutent à ces rejets les apports latéraux par les eaux de ruissellement principalement en période de traitement phytosanitaire.

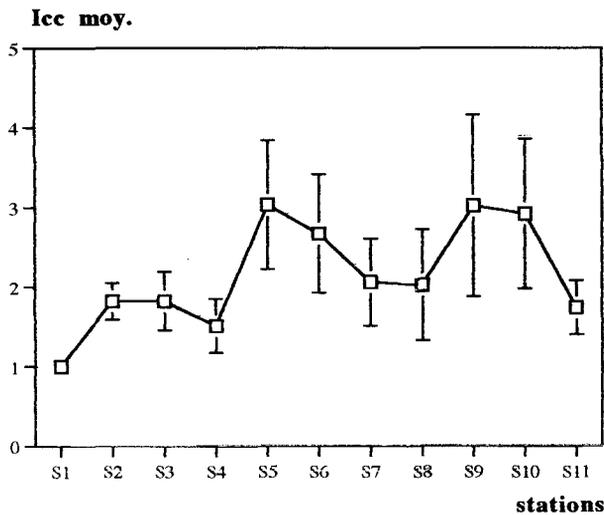


Figure 6: Evolution spatiale de l'indice moyen de contamination corrigé (Iccm) ($P < 0,01$).

Des variations longitudinales analogues (fig. 7) de moindre importance sont relevées pour le cuivre et le zinc dont le comportement est influencé par la présence de la matière organique (RASHID, 1974).

A travers ces résultats nous remarquons que, le bas Sebou et ses affluents s'avèrent sérieusement atteints par une contamination métallique dominée le plus souvent pour l'ensemble des stations par les métaux les plus

toxiques, comme le montre la classification suivante : **IccCr > IccHg > IccPb > IccCu > IccZn > IccAl > IccFe > IccMn.**

L'activité industrielle reste la source principale de cette pollution sans toute fois exclure celle d'origine agricole. En effet, en absence de toute autre source de contamination par le mercure la surprenante contamination par cet élément, reste probablement liée à l'emploi de certains produits phytosanitaires (fongicides) surtout que la région connaît une grande activité agricole et à d'autre part à son utilisation dans l'industrie papetière.

Pour ce qui est de l'évolution temporelle, elle montre une légère augmentation des teneurs de tous les métaux au cours des campagnes de juillet et d'octobre (Fig. 5). Ces mois coïncident en effet avec la période estivale où le potentiel hydrique du Sebou et de ses affluents sont très restreints bien que le débit des rejets industriels et domestiques restent constant. Ceci augmente par conséquent la concentration des polluants à tous les niveaux, à l'exception de l'embouchure où les apports des eaux marines lors de la marée haute, diluent de façon modérée les eaux fluviales pendant cette période.

L'évaluation des teneurs métalliques des sédiments par l'utilisation de l'indice de contamination corrigé montre une contamination métallique généralisée et importante. L'utilisation de cet indice s'avère d'un emploi judicieux et intéressant afin de pallier à l'hétérogénéité due à la présence de la matière organique au niveau des sédiments et de standardiser les teneurs métalliques d'un sédiment donné. L'évolution longitudinale de cette contamination se caractérise par un net gradient croissant jusqu'à la station de Sidi Allal Tazi (S7) où toutes les teneurs en métaux sont anormalement élevées. Plus en aval et jusqu'à la station 8, la situation s'améliore progressivement et se traduit par une baisse des teneurs métalliques qui pourrait s'expliquer à la fois par la présence du barrage de Garde en aval de la S7 où décante la majorité des métaux liés aux matières en suspension et par l'effet des eaux de l'Oued Beht et les changements physico-chimiques induits (diminution du pH, oxygénation...) capables de mobiliser les métaux des sédiments (phénomène de relargage). Vers l'aval la situation se détériore de nouveau suite à l'importante charge polluante rejetée par la ville de Kénitra. Par ailleurs, la remontée des eaux au cours de la marée haute rend cette situation plus complexe. En effet, les eaux marines denses par rapport à celles de l'amont (douces) créent une barrière physique à la descente de la charge polluan-

te riche en métaux lourds, qui favorise la floculation et la décantation principalement au niveau de l'embouchure entraînant un comblement du lit du cours d'eau. Mais cette situation n'est pas sans conséquence sur le milieu à cause des possibilités de relargage, de mobilisation et de remise en suspension de métaux en milieu aqueux et les effets toxiques que peuvent induire chez les organismes aquatiques notamment les poissons et la flore.

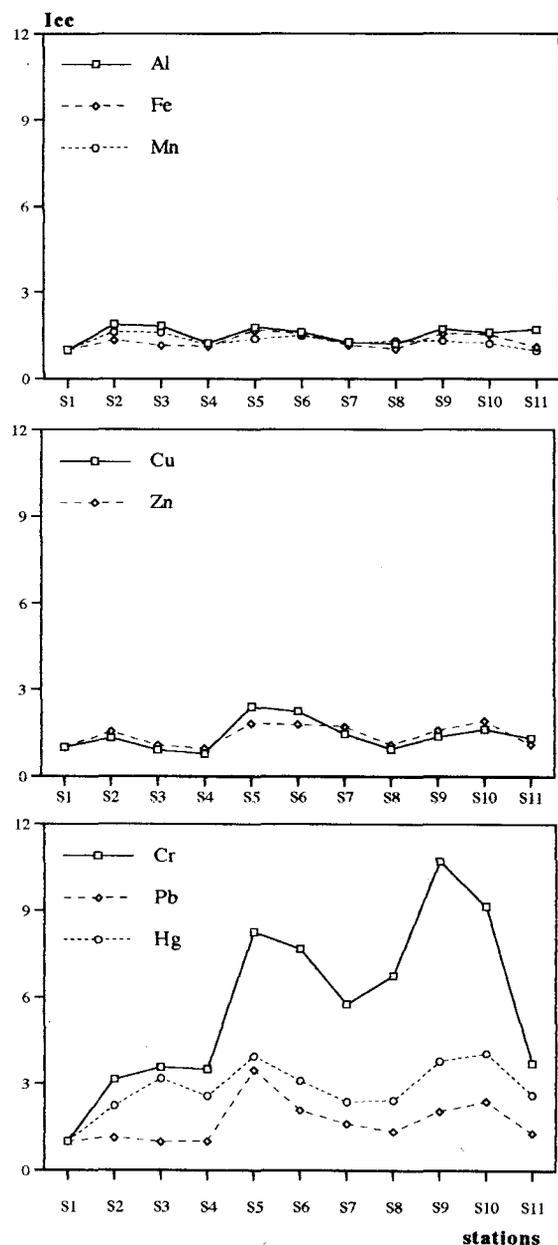


Figure 7 : Evolution spatiale de l'indice de contamination corrigé (Icc)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BELAMIE R. & PHELIPPOT S. (1982)- Etude du niveau de contamination des sédiments de plusieurs cours d'eau du bassin Parisien (France) par les métaux et les composés organochlorés CEMAGREF, division qualité des eaux, pêche et pisciculture; rap. n°16, 8p.
- BOUST D., JOUANNEAU J.M. & LATOUCHE C. 1981- Méthodologie d'interprétation des teneurs totales en métaux traces contenus dans les sédiments estuariens et littoraux. Bull. Inst. géol. Bassin d'Aquitaine, n° 30, p. 72-78.
- FEKHAOUI M. 1990- Recherches hydrobiologiques sur le moyen Sebou soumis aux rejets de la ville de Fès: suivi d'une macropollution et évaluation de ses incidences sur les composantes physiques, chimiques et biologiques de l'écosystème. Thèse Doct. d'État. Fac. Sci. Rabat .165p.
- FEKHAOUI M., BENNASSER L., SEIGLE MURANDI F. & BENOIT GUYOD J.L. 1993- Water pollution in the river Sebou bassin (Morocco). Preliminary result. First SETAC Word Congress: Ecotoxicology and environmental chemistry, a Global perspective. Lisbonne, Portugal, Mars 28-31, 1993.
- FÖRSTNER V. & WITMANN G.T.W. 1979- Metal pollution in aquatic environment. Springer Verlag, 468 p.
- HAKANSON L. 1984- Metal in fish and sediment from the river Kolbacksan water system, Sweden. *Arch. Hydrobiol.* 101, 3, 373-400.
- MATHIS B.J. & CUMMINGS T.F. 1973- Selected metals in sediments, water and biota in the Illinois River. J. W. P. C. F., 1573-1583.
- PASTERNAK K. 1969- Bottom sediment of the polluted dam reservoir at Otmuchow. *Acta Hydrobiol.* , 84 , 87-108.
- RASHID H.A. 1974- Adsorption of metal on sedimentary and peat humic acids. *Chem. Geo.*, 115-123.
- ROSSILLON J. 1984- *Dynamique des populations de macro-invertébrés benthiques d'une rivière Salmonicole (Samson): Approche des facteurs régulateurs.* Thèse Doct. Es-Sciences. Univ. Notre Dame de Paris, Nemur, 199p.
- ROSSO A., LAFONT M. & EXINGER A. 1993- Effets des métaux lourds sur les peuplement d'Oligochètes de l'ILL et de ses affluants (haut Rhin, France). *Annls. Limnol.* 29 (3-4), 295-305.
- SERODES S. 1978- Qualité des sédiments du fond du fleuve Saint Laurent entre Corn-wall et Mont-magny. Comité d'étude sur le fleuve St Laurent. rapport technique n°15.
- SNOUSSI M.1984- Comportement du Pb, Zn, Ni et Cu dans les sédiments de l'estuaire du Loukous et du proche plateau continental (Côte Atlantique Marocaine). Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, n°30, 71-86.

- TURKIAN K.K. & Wedepohl K.H. 1961-Distribution of the element in some major units of the earth crust. Bull. Geol. Soc.Am., 72, 175-192.
- WELKEN R.D. & WEILLER K. 1987- Behaviour of iron and manganese in comparison to other metal in ELBS estuary. Heavy metal environment, inter conf. vol, 2, 227-229

Adresses des auteurs :

Laila BENNASSER

Laboratoire de Biochimie et de Microbiologie,
Département de Biologie, Faculté des Sciences,
Kénitra (MAROC).

Mohammed FEKHAOUI & Mostafa BOUACHRINE

Laboratoire d'Hydrobiologie et de Toxicologie,
Département de Zoologie et Ecologie Animale,
Institut Scientifique , RABAT (Maroc).