

Utilisation de deux indices chimiques (ICG et ISQA) dans la détermination de la qualité de l'eau de plusieurs rivières espagnoles

C. Fernandez-Alaez, M. Fernandez-Alaez et E. Bécares

Departamento de Ecología. Facultad de Biología. Universidad de León (España)

Résumé. – Grâce à une analyse en composantes principales on détermine le niveau de contamination de l'eau de diverses rivières, situées dans le bassin du Duero. Ces rivières sont polluées par des localités de la Communauté de Castille et León représentant plus de 15 000 habitants. Les rivières dans lesquelles on observe une plus grande détérioration de la qualité de l'eau ne coïncident généralement pas avec celles où la densité de la population est la plus forte. L'augmentation du débit dans ces rivières n'est pas suffisante pour modifier cette situation. Une comparaison est également effectuée entre deux indices chimiques : l'ICG et l'ISQA, il en résulte une relation de type potentielle, dont la corrélation est significative. Ces indices résument le classement des échantillons obtenus dans l'analyse en composantes principales par rapport au contrôle de l'altération de la qualité de l'eau due aux villes.

Mots clés. – Qualité de l'eau, paramètres physico-chimiques, indices chimiques, rivière.

Summary. – The pollution level of the water in several rivers, especially of the Duero basin, is determined using a principal components analysis. These rivers are affected by localities in the Castile and Leon Community with a population of over 15,000 inhabitants. The rivers which are greatly affected with regard to their water quality do not, in general, flow through the most important centres of population. The flow increase in these rivers is not enough to modify this situation. A comparison of two chemical indices: ICG and ISQA is carried out, resulting a potential relation with a highly significant correlation. Both indices summarize the arrangement of the sampling stations obtained from the principal components analysis with respect to showing the water quality decrease because of the population centres.

Key words. – Water quality, physico-chemical parameters, chemical indices, river.

INTRODUCTION

L'utilisation d'indices dans le but d'obtenir des informations sur les caractéristiques de qualité de l'eau est un des aspects de la limnologie appliquée auquel on a porté une grande attention au cours des dernières années. Horton (1965) a été l'un des premiers chercheurs à proposer la transformation des paramètres individuels rattachés à la qualité de l'eau en une appréciation globale de celle-ci. Depuis, de nombreux travaux proposent des « indices de qualité d'eau » (Couillard & Lefebvre, 1985 ; Lamontagne & Provencher, 1977 ; Shaeffer & Jonardan, 1977 ; Stoner, 1978). Ott (1978a, 1978b) et Beron *et al.* (1982) mentionnent dans leurs travaux quelques indices et indiquent les principes fondamentaux suivis pour leur élaboration.

De la même façon, les recherches sur l'utilisation d'indices physico-chi-

miques en tant que méthode d'évaluation du degré de la qualité de l'eau dans les cours d'eau se sont multipliées (Antelo *et al.*, 1989 ; Mc Cleand, 1974 ; Mingo, 1981 ; Puebla *et al.*, 1990 ; Queralt, 1982). Bien qu'assez simple, le calcul de ces indices chimiques, comme l'ICG (Mingo, 1981), nécessite un nombre élevé de paramètres analytiques. C'est pour cette raison qu'ont été définis des indices plus maniables, comme l'ISQA (Queralt, 1982) qui utilise un nombre plus réduit de paramètres. La présente étude établit au moyen d'une analyse multifactorielle en composantes principales le niveau de contamination de divers cours d'eau du bassin du Duero, par l'effet de la pression exercée par les noyaux importants de population de la Communauté de Castille et León (Espagne). Ainsi a été étudiée d'une façon simultanée et par comparaison, le comportement, dans ces rivières, de deux indices chimiques ICG et ISQA d'un niveau de complexi-

Tableau 1. – Villes sélectionnées et rivières qui les traversent.

Table 1. – Population centres selected and rivers that flow through them.

Villes	Nombre d'habitants	Rivière
Aranda de Duero (AD)	28.242	Duero
Avila (Av)	44.618	Adaja
Béjar (Be)	17.151	Cuerpo de Hombre
Burgos (Bu)	163.910	Arlanzón
Ciudad Rodrigo (Cr)	14.862	Agueda
Leon (Le)	137.414	Bernesga
Miranda de Ebro (Me)	36.667	Ebro
Palencia (Pa)	76.707	Carrión
Ponterrada (Pf)	58.544	Sil
Salamanca (Sa)	166.615	Tormes
Segovia (Se)	55.496	Eresma
Soria (So)	32.490	Duero
Valladolid (Va)	341.194	Pisuerga
Zamora (Za)	63.051	Duero

té très différent. Le but était d'établir les différences de sensibilité de chacun d'eux à l'appréciation de la qualité de l'eau.

SITE DE L'ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE

Pour effectuer cette étude, les 14 localités de Castille et León dont la population est supérieure à 15 000 habitants et qui sont sur les rives

d'une rivière, ont été sélectionnées. Le tableau 1 présente ces localités ainsi que les rivières qui les traversent.

En relation avec chaque noyau de population, 3 stations d'échantillonnage ont été choisies : la première, est située en amont des rejets dans la rivière des effluents urbains et industriels, la seconde à l'aval, et la troisième située respectivement à 6 et 10 km des précédentes (fig. 1).

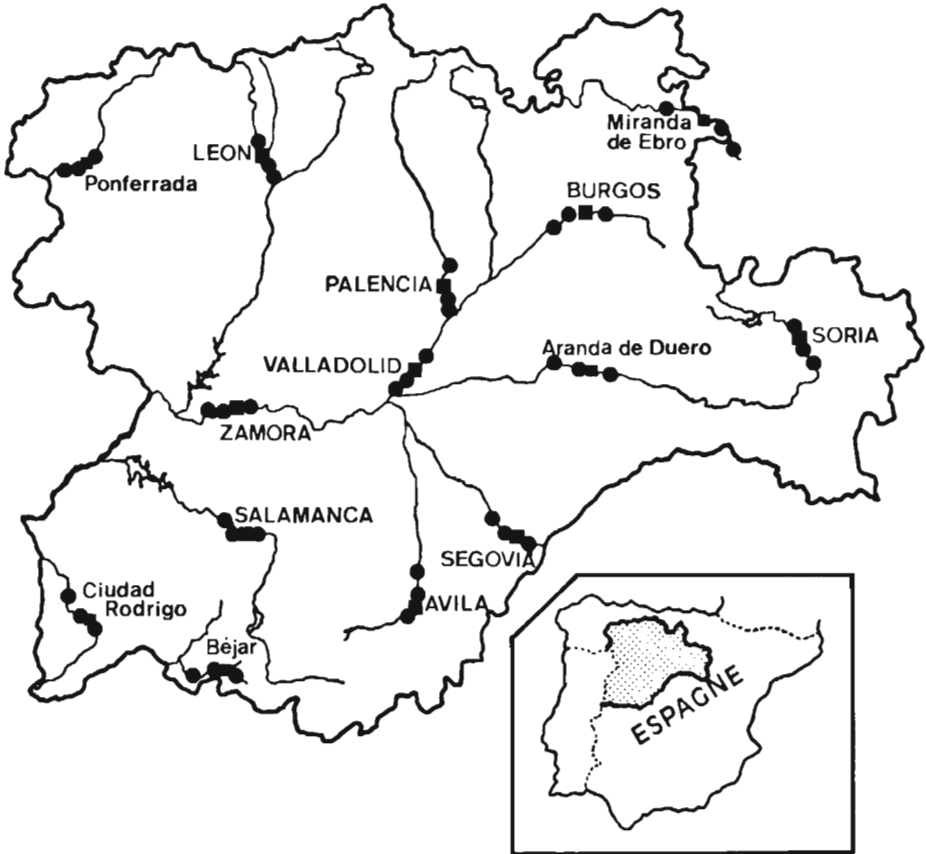


Fig. 1. - Localisation des stations d'échantillonnage.
Fig. 1. - Location of sampling stations.

Les 42 points ainsi établis ont fait l'objet de prélèvements au cours de deux campagnes : la première en juin de 1987 et la seconde en novembre et décembre de la même année, correspondant respectivement à une période de bas et de fort débit. Le pH, la conductivité, l'oxygène dissous et la température ont été mesurés sur le terrain. Au laboratoire ont été analysées les matières en suspension totale (MST), l'alcalinité, ainsi que les ions SO_4^- , N-NO_3^- , N-NO_2^- , N-NH_3 , P-PO_4^- , Cl^- , SiO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , DCO et DBO₅.

Le traitement statistique des données analytiques a été effectué à deux niveaux différents. D'une part, une analyse en composantes principales a été appliquée à l'ensemble des résultats préalablement normalisés (à l'exception du pH) en utilisant la transformation $\log(X + 0,001)$ (Estrada, 1975; Flos, 1979), d'autre part, ont été calculés indépendamment pour chaque échantillon les indices chimiques ISQA et ICG, dont les formules et les paramètres utilisés figurent respectivement dans Queralt (1982) et Mingo (1981).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les trois premiers axes de l'analyse en composantes principales rendent compte de 66,26% de la variation totale. Les variables, les plus fortement corrélées avec la composante I sont le calcium, l'alcalinité, la conductivité, les sulfates et les chlorures, paramè-

tres qui dans l'ensemble, déterminent la salinité de l'eau. La seconde composante établit une forte opposition entre P-PO_4^- , N-NH_3 et DCO, d'une part, et l'oxygène d'autre part (fig. 2). Devant cette distribution des variables, il est possible de mettre en relation la première composante avec un gradient de minéralisation; le second facteur conditionne le classement des échantillons par rapport à leur niveau de contamination. Beaucoup de rivières étudiées présentent une forte contamination organique due au déversement d'eaux usées d'origine urbaine. Ce phénomène est mis en évidence par l'écart entre les échantillons amont et aval de chaque rivière le long de l'axe II. Cette situation est plus marquée pendant la première campagne du fait d'une accentuation du processus de la contamination en période de faible débit, en terme de contamination, les échantillons les plus éloignés du déversement ont, quelquefois, une situation semblable à celle de ceux situés en amont. On peut interpréter ce résultat comme une récupération relative des niveaux de qualité. Pendant l'échantillonnage de novembre-décembre, l'accroissement du débit détermine un plus petit écartement, c'est-à-dire, une plus grande homogénéité dans les caractéristiques physico-chimiques des trois échantillons de certaines rivières, qui étaient plus éloignés dans le prélèvement de juin (fig. 3).

Lors des deux campagnes, les noyaux de population dont les eaux résiduelles altèrent fortement la qua-

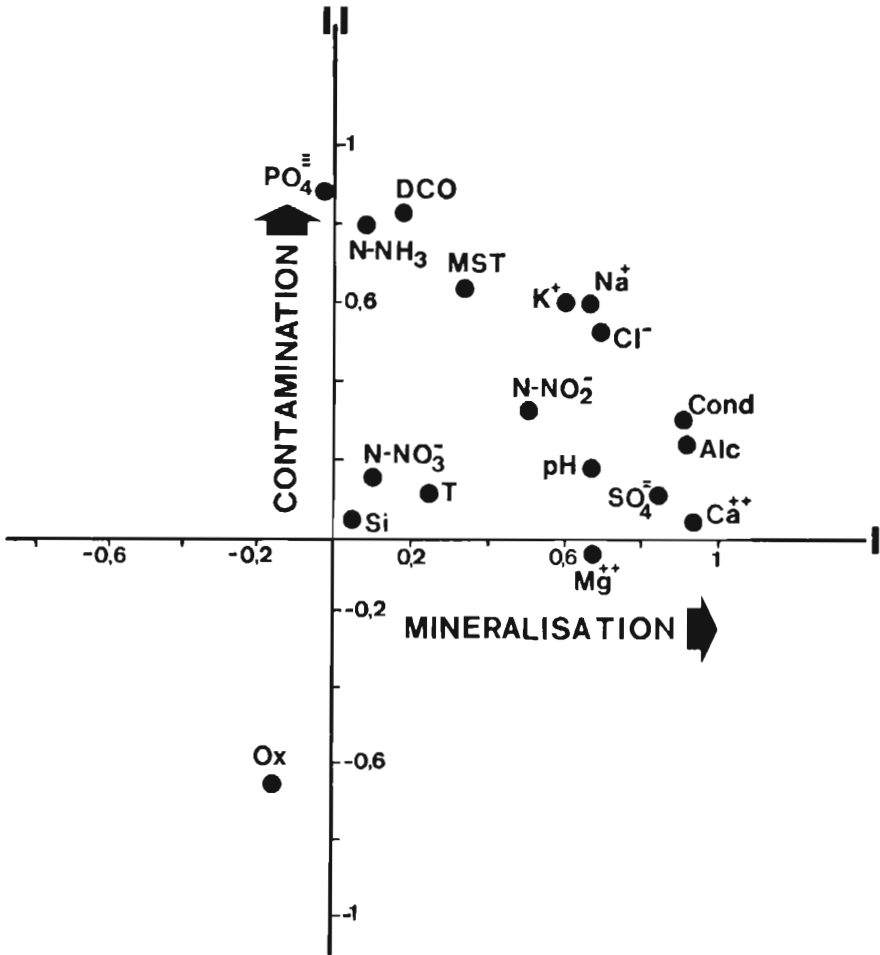


Fig. 2. - Distribution des variables physico-chimiques sur le plan défini par les deux premières composantes.

Fig. 2. - Distribution of the physico-chemical variables on the plane defined by the first two components.

lité de l'eau des rivières sur León, Avila, Soria et Segovia (fig. 3). L'importance démographique de ces villes ne justifie pas le fort impact qu'elles exercent sur les cours d'eau. Dans une étude antérieure, en utilisant les

données obtenues en juin, (Fernandez *et al.*, 1989) on attribua ce résultat à une réduction forte du débit. Cependant, l'absence de variation lorsqu'on a inclus les données du second échantillonnage fait supposer

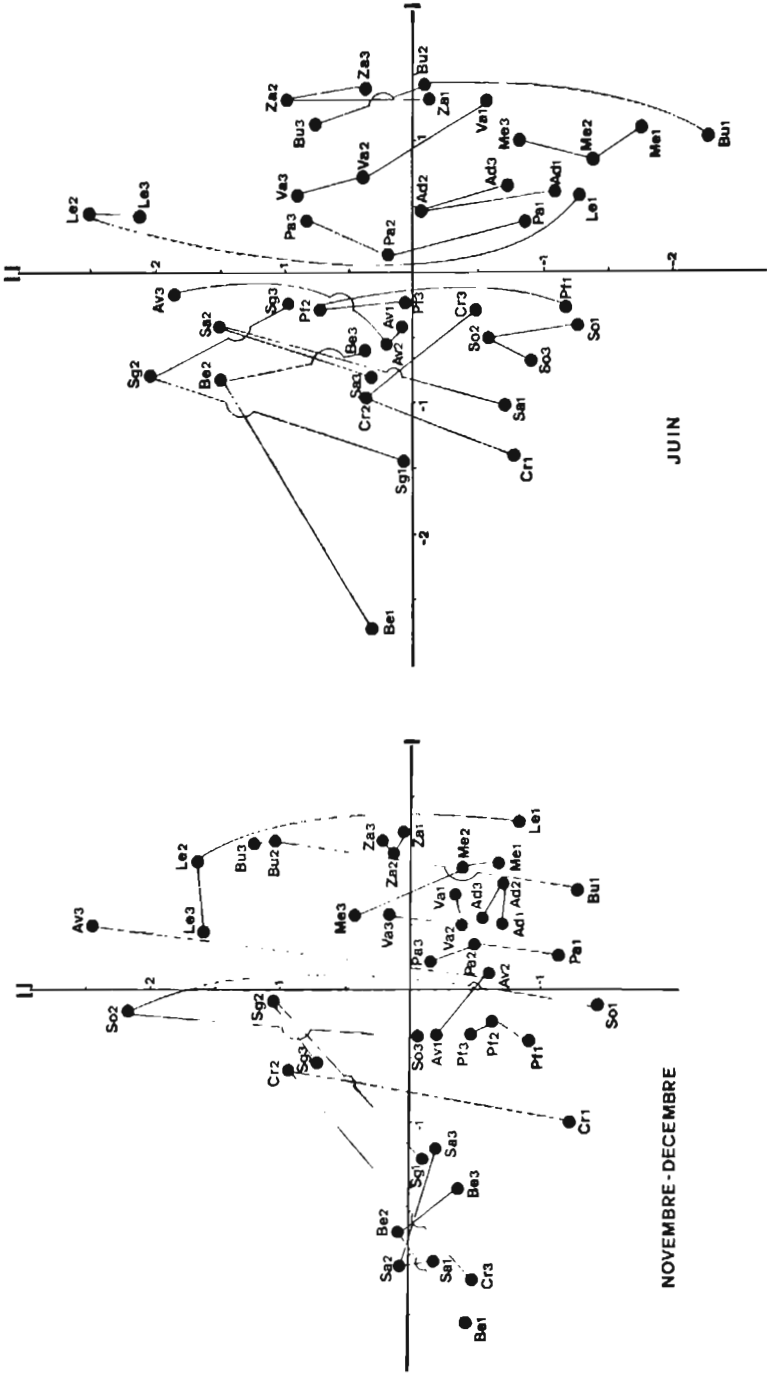


Fig. 3. - Ordonation des stations d'échantillonnage sur le plan défini par les composantes I et II.
Fig. 3. - Arrangement of the sampling stations on the plane defined by the components I and II.

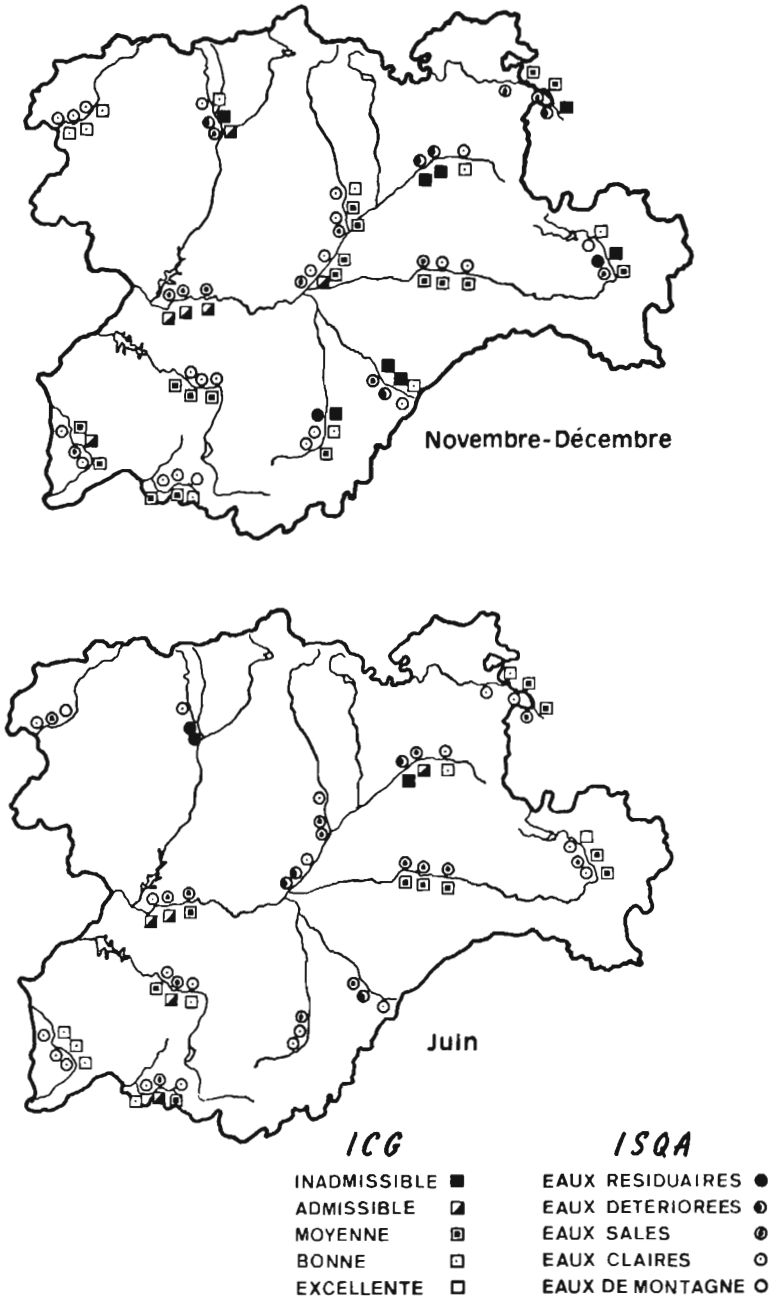


Fig. 4. – Valeurs des indices ICG et ISQA pour les deux campagnes et pour les trois stations d'échantillonnage établies autour de chaque ville.

Fig. 4. – Values of the indices ICG and ISQA for two sampling periods and for three sampling stations established around every population centre.

que l'augmentation du débit ne suffit pas à produire un important effet de dilution.

Ces rivières comme Eresma (Segovia), Cuerpo de Hombre (Béjar), ou Agueda (Ciudad Rodrigo), sont, en général, celles qui enregistrent une augmentation relativement plus accentuée du contenu ionique lors du déversement des eaux usées d'origine urbaine et industrielle. Au contraire, Duero, Pisuerga, Bernesga, Ebro y Arlanzón ont un niveau de minéralisation déjà élevé, en amont des rejets des villes de Zamora, Valladolid, León, Miranda de Ebro et Burgos. La composition ionique de l'eau de ces rivières subit ainsi peu de variations lors des apports d'eau usée d'origine urbaine.

La comparaison entre les deux indices ISQA et ICG est basée sur les résultats obtenus lors de la seconde campagne, puisque pour la première le calcul de l'ICG de certains échantillons n'a pu être effectué du fait de l'absence de données de DBO. La variation des deux indices le long des trois stations d'échantillonnage établies autour de chaque ville est très semblable. Les deux indices sont en accord, dans la plupart des cas, pour traduire une détérioration progressive de la qualité de l'eau, ou bien, un processus d'autoépuration (fig. 4).

Les valeurs de l'indice ISQA reflètent une détérioration plus grande de la qualité de l'eau pendant la première campagne et l'existence d'un processus d'autoépuration qui, cependant, n'est pas identique à tous les points, mais est évident pour les villes de Se-

govia, Zamora, Salamanca, Ciudad Rodrigo, Soria, Ponferrada et León (fig. 4).

La relation existante entre les indices peut se décrire au moyen de l'expression $y = ax^b$, avec $r = 0,9694^{***}$ (fig. 5). En général, les résultats obtenus avec l'indice ICG sont supérieurs à ceux obtenus avec l'ISQA. Cette caractéristique s'accroît aux niveaux les plus bas; à partir de 70, l'augmentation de l'ICG est plus lente. Ce phénomène signifie une moindre capacité discriminatoire de l'ICG par rapport à l'ISQA. Dans l'intervalle de 80 à 90, les deux indices réagissent de la même façon. Quand on positionne sur l'échelle logarithmique les deux variables, l'équation de régression s'écrit $\log y = \log 0,10 + 1,50 \log x$ (fig. 5).

La différence de qualité entre les échantillons situés avant et après les villes est aussi bien exprimée par les deux indices que par la position des échantillons par rapport à l'axe II de l'analyse en composante principale (fig. 6). Lorsque l'on considère les valeurs données par l'ISQA, la relation qui s'établit entre les deux caractéristiques est de type linéaire ($y = 0,236x + 0,051$) et il existe une corrélation hautement significative ($0,924^{***}$) (fig. 6). La vérification du niveau de signification de la droite de régression s'est faite grâce à un test de *t* de Student, en prenant des marges de validité de 95%. La relation de type linéaire se maintient quand on utilise les résultats correspondants à l'ICG ($y = 0,311 + 0,058x$), bien que le niveau de corrél-

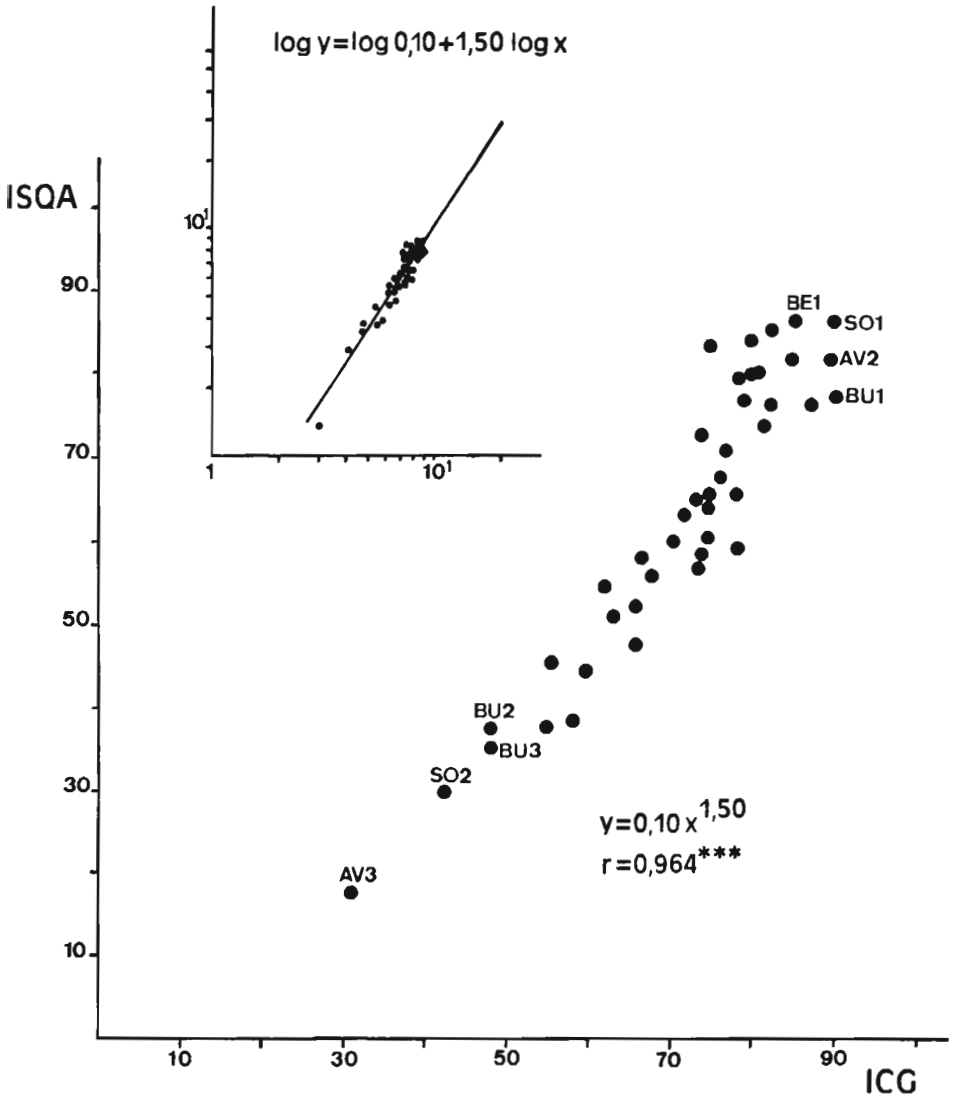


Fig. 5. - Relation entre les indices chimiques ICG et ISQA.

Fig. 5. - Relationship between the chemical indices ICG and ISQA.

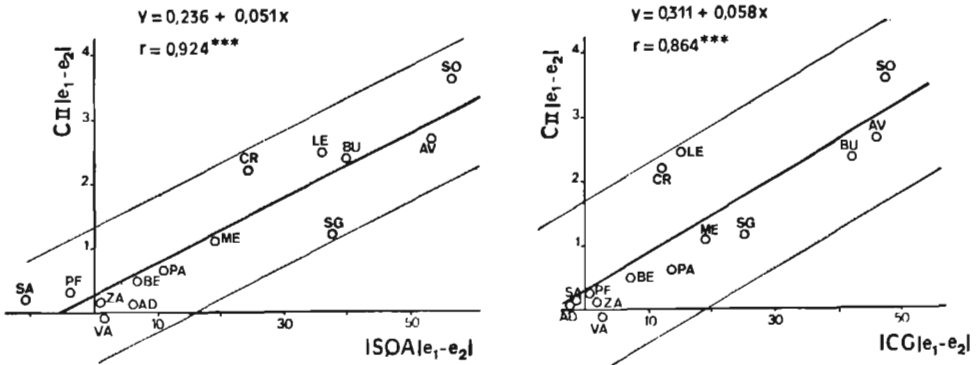


Fig. 6. – Relation entre les valeurs des indices ISQA et ICG et l'arrangement obtenue dans l'analyse de composantes principales. On a utilisé la différence de qualité entre les stations situées avant et après les villes.

Fig. 6. – Relationship between the chemical indices and the arrangement of the sampling stations obtained from the principal components analysis. The water quality difference between the first two sampling stations is used.

lation soit sensiblement inférieur (0,864***) (fig. 6). Il apparaît donc que ces deux indices résument bien l'ordination des échantillons obtenue grâce à l'analyse multifactorielle en composantes principales.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Antelo J.M., Arce F., Arjomil M., Bravo C., Penedo F.J. y Rey F., 1989. Indices de calidad en las aguas de los ríos Tambre, Ulla y Sar (La Coruña). *Tecnol. del Agua*, 53:60-72.
- Beron P., Valiquette L., Patry G., Brière F., 1982. Indices de qualité des eaux. *Trib. du Cebedeau*, 467(35) : 385-391.
- Couillard D. & Lefebvre Y., 1895. Analysis of water quality indices. *J. Envir. Manag.*, 21 : 161-179.
- Estrada M., 1975. Statistical considerations of some limnological parameters in Spanish reservoirs. *Verh. Internat. Verein Limnol.*, 19 : 1949-1859.
- Fernandez C., Luis E. & Fernandez M., 1989. Contaminación fluvial ocasionada por nucleos urbanos de la Comunidad de Castilla y Leon. *Actas de las II Jornadas sobre contaminación*. Palma de Mallorca : 191-196.
- Flos J., 1979. Interpretación de varios análisis de componentes principales aplicados a un conjunto de datos oceanográficos de una zona nerítica del Golfo de Vizcaya. *Inv. Pesquera*, 43 : 611-635.
- Horton R.K., 1985. An index-number system for rating water quality. *J. Water Poll. Control Fed.*, 37(3) : 300-306.
- Lamontagne M.P., Provencher M., 1977. *Méthode de détermination d'un indice d'appréciation de la qualité des eaux selon différentes utilisations*. Service de la Qualité des Eaux. Ministère des Richesses Naturelles Québec, Q.E.

- McCleand N.I., 1974. *Water Quality Index Application in the Dansas River Basin*. EPA Publication No. EPA-907/9-74-001.
- Mingo J. 1981. *La vigilancia de la contaminación fluvial I*. Tratamiento de los datos de control analítico. M.O.P.U.
- Ott W.R., 1978a. Environmental Indices. Theory and Practice. *Ann. Arbor Science Publishers Inc., Ann. Arbor, Michigan*.
- Ott W.R., 1978b. Water Quality Indices : A survey of indices used in the United States. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C. EPA-600/4-78-005.
- Puebla P., Lanaja J., Viguri F., Matute R., Puebla J., Sainz A., Sanchez D. y Santolaria A., 1990. Calidad de las aguas superficiales en la cuenca del río Turia. II. Aptitud para el riego e índices de calidad. *Tecnol. del Agua*, 72 : 26-32.
- Queralt R., 1982. La calidad de las aguas en los ríos. *Tecnol. del agua* 4 : 449-57.
- Shaeffer D.J. & Janardan K.G., 1977. A new water quality index. *J. Envir. Educ.*, 8(4) : 18-26.
- Stoner J.D., 1978. Water Quality Indices for specific water uses. U.S. Geological Survey, Reston, VA, Circular nº 770.