

# Impact de la ville de Fès sur l'Oued Sebou: étude physico-chimique

محمد فخاوي و إيريك باتي

Mohammed FEKHAOUI & Eric PATTEE

Mots-clés : Afrique du Nord, Rivière, Macropollution, Auto-épuration, Débit.

## ملخص

أثر مدينة فاس على نهر سبو: دراسة كيميوفيزيائية. تقدم من خلال هذا البحث لدراسة آثار المياه المستعملة الأهلية منها و الصناعية لمدينة فاس على الجودة الكيميائية لنهر سبو، وذلك بتحصيل و تقييم كمي و كيميائي لعدة مؤشرات فيزيائية و كيميائية. أبانت النتائج المحصل عليها مدى تأثير هذا التلوث الممتد على مسافة 40 كلم أسفل مدينة فاس، مع تصفية ذاتية مهمة نتيجة العوامل الطبيعية كالحركة التي تساعد على هذه العملية. لكن الوجود المكثف لمواد سامة كبعض المعادن الثقيلة تُعيق السير العادي للتصفية الذاتية و بالتالي تنقص من فعاليتها. كما أوضحت البنية الزمكانية المبرزة بواسطة تحليل المقابلات ( المكونات الأساسية ) الدور المهم لنسوب المياه و خصوصاً فترات الفيض و مدى تأثيره على جودة المياه السطحية لنهر سبو.

## RESUME

Cette étude présente les caractères physico-chimiques de l'oued Sebou, soumis aux rejets de la ville de Fès par l'intermédiaire de l'oued Fès. En moyenne, l'impact de la macropollution s'étend sur une quarantaine de kilomètres, avec une forte auto-épuration, sans doute liée à la température (12 à 28° C) mais freinée par les micropolluants. La structure spatio-temporelle mise en évidence par une analyse en composantes principales normée (ACPN) fait ressortir l'influence primordiale des variations saisonnières et surtout des variations annuelles du débit, ainsi que le rôle bénéfique des crues. Selon que le débit moyen est fort ou faible, la qualité des eaux de l'oued Sebou se montre acceptable ou très médiocre.

## ABSTRACT

**Impact of Fes city (Morocco) on Sebou river: physical and chemical study.** Oued Sebou receives the domestic and industrial wastes from the Fes city (Morocco) via Oued Fes. The physical and chemical characteristics of both rivers were investigated in this district. On a mean basis, the macropollution extends over distance of about 40 km. Probably owing to the warm temperature (12 to 28° C), self-purification seems very active, through possibly impeded by micropollution. The spatial and temporal structure of the biotope was investigated by means of a principal components analysis, using standardized variables. The discharge, with its seasonal and mainly its annual variations and the positive influence of floods, was the determining variable. According to whether the mean discharge was high or low, the quality of Sebou water was acceptable or very poor.

## INTRODUCTION

Par suite de l'expansion démographique et de l'essor économique qu'ont connus certaines villes d'une façon particulière, on assiste depuis quelques années à des changements quantitatifs et qualitatifs de la pollution, tant organique classique que due à l'utilisation accrue de produits artificiels. L'Oued Sebou, sur lequel porte notre étude, est un cours d'eau marocain d'une importance capitale, aussi bien pour l'homme (alimentation de la nappe phréatique, eau potable, irrigation...) que pour la faune aquatique (poissons, macro-invertébrés...). Il représente un cas concret de ces phénomènes sous climat méditerranéen. Située près de sa rive gauche, la ville de Fès est à la fois un centre en plein développement industriel et un site touristique considéré comme patrimoine international. Par ses eaux usées industrielles et domestiques, déversées sans traitement, cette ville modifie l'environnement situé en aval et l'Oued Sebou en particulier. Notre travail, qui s'inscrit dans un programme d'étude biologique et écotoxicologique de ce secteur, tentera de décrire l'état actuel de l'Oued Sebou. Son but est d'évaluer, sous climat méditerranéen chaud, l'impact des rejets de la ville de Fès et la capacité de défense du milieu naturel face à cette agression.

## MILIEUX ET METHODES

Situé au nord-ouest du Maroc, entre 4° à 7°W et 33° à 35°N, l'Oued Sebou prend ses sources dans le Moyen-Atlas à 2100 m d'altitude. Le long de son parcours, il traverse des terrains essentiellement calcaires et marno-calcaires. La zone sur laquelle porte notre étude correspond au moyen Sebou, qui reçoit les rejets bruts domestiques (550 000 habitants environ) et industriels (huileries, savonneries, textile, tanneries, maroquinerie, travail des métaux ...) de la ville de Fès, véhiculés par l'Oued Fès, véritable égout à ciel ouvert d'environ 3 km. Six stations choisies pour caractériser l'impact de ces rejets sur la qualité physico-chimique des eaux (Fig. 1):

- une station A, sur l'Oued Sebou en amont du confluent avec l'Oued Fès; elle sert de témoin;
- une station F, sur l'Oued Fès;
- quatre autres stations (B, C, D, E), réparties le long de l'O. Sebou sur une cinquantaine de kilomètres en aval.

La station B a été placée assez loin du confluent pour que le mélange des eaux y soit visiblement complet (les eaux de l'O. Fès sont colorées en noir, notamment par la réaction dite des "encres" due à la présence de tanins et de sels de fer).

Tableau I : Méthodes d'analyse des différents paramètres physico-chimique.

Paramètres	Méthodes d'analyses	Unités	Sources
Température	thermomètre à mercure, précision à 1/10	°C	
Conductivité	conductimètre YSI modèle; S-C-T Meter.	$\mu\text{S} / \text{cm}$	
pH	pH-mètre, ORION Research, Ionalyser modèle 407A avec électrode spécifique $\text{O}_2$ électrode ORION Research modèle 97-05.		
Oxygène dissous	oxymètre, ORION Research, Ionalyser modèle 407A, avec électrode spécifique $\text{O}_2$ électrode ORION Research modèle 97-08.	$\text{mg/l d'O}_2$	
Turbidité	turbidimètre à effet Tyndall (trousse Hach, Delta Scientific spectromètre modèle 50)	$\text{mg/l de silice}$	
M. E. S.	méthode de filtration. Les M.E.S. sont déterminées par pesage après séchage à 105°C.	$\text{mg/l}$	RODIER (1976) p.31
DBO <sub>5</sub>	méthode par dilution.	$\text{mg/l d'O}_2$	Norme AFNOR T 90103
Oxydabilité	mesure, en milieu acide, de la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium par les matières organiques contenues dans l'eau	$\text{mg/l d'O}_2$	RODIER (1976) p.132
Dureté calcique	méthode volumétrique: précipitation du calcium sous forme oxalate en milieu acétique, le précipité est redissous dans l'acide sulfurique puis dosé par une solution titrée de permanganate de potassium.	$\text{mg/l de Ca}^{++}$	RODIER (1976) p.186
Dureté totale	méthode par complexométrie à l'E.D.T.A. avec indicateur spécifique (noir d'Eriochrome).	$\text{mg/l de CaCO}_3$	RODIER (1976)
Alcalinité (T. A. C.)	dosage basé sur la neutralisation d'un volume d'eau connu par $\text{H}_2 \text{SO}_4$ en présence d'un indicateur coloré, methyl-orange (0,5%).	$\text{mg/l de HCO}_3^-$	Norme AFNOR; NFT 90-36
Nitrates	transformation des nitrates en dérivé nitro-phénol-sulfurique coloré, puis dosage par spectrophotométrie de ce dérivé.	$\text{mg/l de NO}_3^-$	Norme AFNOR NF 90-0L2
Nitrites	diazotation, en milieu chlorhydrique de l'acide sulfurique. Copulation en milieu ammoniacal avec le phénol et dosage calorimétrique du complexe formé avec les nitrites.	$\text{mg/l de NO}_2^-$	Norme AFNOR NF 90-0J3
Ammoniaque	méthode de Nessler; les iodo-mercure de potassium alcalin, en présence d'ammoniaque, est décomposé avec formation d'iodure de dimercuriammonium qui permet le dosage colorimétrique des ions ammoniums.	$\text{mg/l de N-NH}_4^+$	RODIER (1976) p.116
Sulfates	méthodes néphélométriques; les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfates de Barym. Le précipité obtenu est stabilisé par le "tween20". Les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre.	$\text{mg/l de SO}_4^{--}$	RODIER (1976) p.176
Orthophosphates	les ions orthophosphates en solution acides, en présence de molybdate d'ammonium, forment un complexe phospho-molybdique, qui après réduction par l'acide ascorbique développe une coloration bleue susceptible d'un dosage colorimétrique.	$\text{mg/l de PO}_4^{3-}$	RODIER (1976) p.146
Chlorures	méthode de MOHR: dosage des chlorures par une solution de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium.	$\text{mg/l de Cl}^-$	Norme AFNOR; NFT 90-014

Il est à noter que la dernière de ces stations est située après la confluence avec une autre rivière, l'Oued Inaouène, auquel le barrage Idriss Ier confère un caractère temporaire.

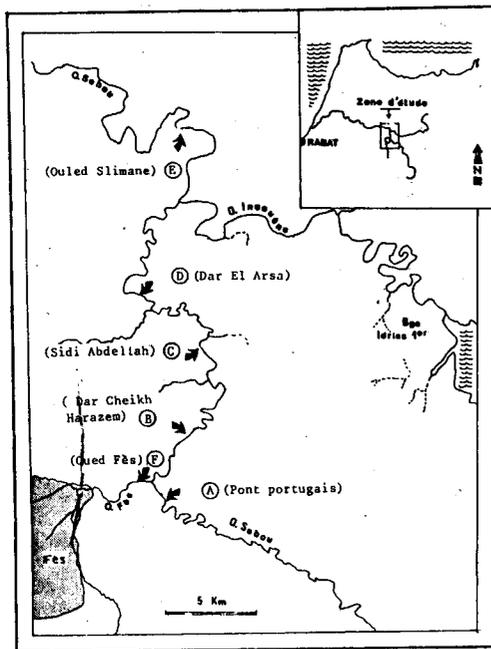


Figure 1 : Localisation géographique des stations étudiées.

Ces six stations ont été visitées à 9 reprises entre le 27/11/84 et le 16/06/86. Chaque campagne durait une journée. Les échantillons étaient prélevés au milieu de l'Oued, à environ 10 cm sous la surface. Seize variables ont été mesurées. Quatre de ces variables l'ont été sur le terrain: la température, la conductivité, l'oxygène dissous et la turbidité. Le transport de l'eau qui a servi pour les autres analyses a été assuré, à 4 °C, dans des congélateurs portatifs, les mesures étant effectuées au Laboratoire d'hydrobiologie de l'Institut Scientifique de Rabat le lendemain. Les techniques d'analyse figurent dans le tableau I.

Nous avons appliqué au secteur B-D, dépourvu d'affluents majeurs, le modèle de STREETER & PHELPS (1925) sur la désoxygénation de l'eau à la suite d'une pollution organique survenant en B. Le coefficient  $K_1$  n'a pas été calculé à partir de mesures de laboratoire, mais à partir des D.B.O réellement mesurées dans l'Oued Sebou aux deux extrémités du secteur.

Les données ont également fait l'objet d'Analyses en Composantes Principales Normées (A.C.P.N.). Les valeurs propres de l'A.C.P., les cartes factorielles et les cercles de corrélations ont été obtenus avec le logiciel de AUDA (1983).

## RESULTATS

### DEBIT

La station limnimétrique de Dar El Arsa, située à une trentaine de km en aval de Fès, sur l'Oued Sebou entre notre station D et le confluent avec l'Oued Inaouène (Fig. 1), dispose de mesures sur 12 années (1974-1986). Elles nous ont été aimablement fournies par la Direction de l'Hydraulique, que nous remercions ici. La figure 2 reproduit les valeurs des années 1984-1986 et montre deux types de variations:

a-des variations saisonnières, caractérisées par de hautes eau printanières et souvent hivernales, suivies, de juillet à octobre, d'un étiage prononcé caractéristique des climats méditerranéens,

b-des variations annuelles, avec une période de sécheresse relative qui s'étend de janvier 1984 à décembre 1985 inclus, liée à l'insuffisance notoire des précipitations à l'échelle du pays entier, et une période de retour des pluies pendant la première moitié de l'année 1986. Pendant la période de précipitations réduites, le Sebou paraît cependant assez régulier pour un Oued méditerranéen.

Cette régularité est assurée par les réservoirs du Moyen-Atlas qui soutiennent un débit d'étiage appréciable, de l'ordre de 6 à 8 m<sup>3</sup>/s. En comparaison, le débit moyen de l'Oued Fès est de 1 m<sup>3</sup>/s.

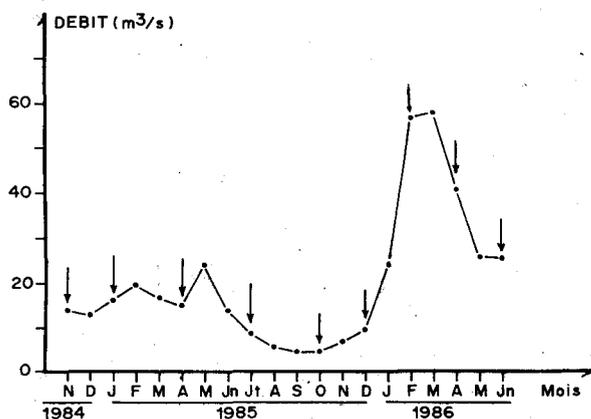


Figure 2 : Variations journalières du débit de l'Oued Sebou à Dar El Arsa (Les flèches indiquent la date des prélèvements).

### VARIATIONS SPATIALES (FIG. 3 ET 4)

L'Oued Sebou en amont de Fès, qui ne semble pas se distinguer des autres rivières marocaines de ce point de vue, se situe à l'extrême ou même en dehors des classes retenues pour les composantes chimiques des eaux courantes en France par NISBET & VERNEAUX (1970).

Il en est notamment ainsi pour la conductivité (450 à 850  $\mu$ S/cm), les chlorures (25 à 140 mg/l), les orthophosphates (0,01 à 2 mg/l). La minéralisation est due, à la fois aux teneurs en chlorures et sulfates, et à celles en calcium (100 mg/l en moyenne) provenant du substrat calcaire et marno-calcaire de la région. Il ne serait donc pas judicieux de se référer à ce travail réalisé sous d'autres climats pour apprécier la qualité des eaux de l'oued.

Le profil spatial de la température ne présente pas de différence significative d'une station à l'autre, la moyenne restant voisine de 19 °C. Il en est de même du pH, qui se maintient à 7,4. Ces deux paramètres n'ont donc pas été représentés. La constance du pH doit sans doute être attribuée au phénomène tampon du complexe carbonate-bicarbonate. A ce pH légèrement alcalin, l'anhydride carbonique total est présent dans l'eau essentiellement sous forme de bicarbonate (GOLTERMAN, 1971).

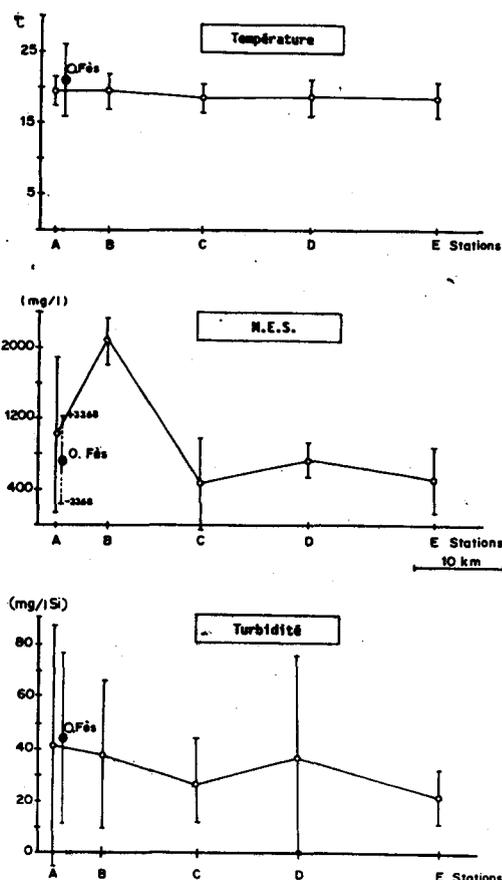


Figure 3 : Evolution spatiale des paramètres physiques de l'eau

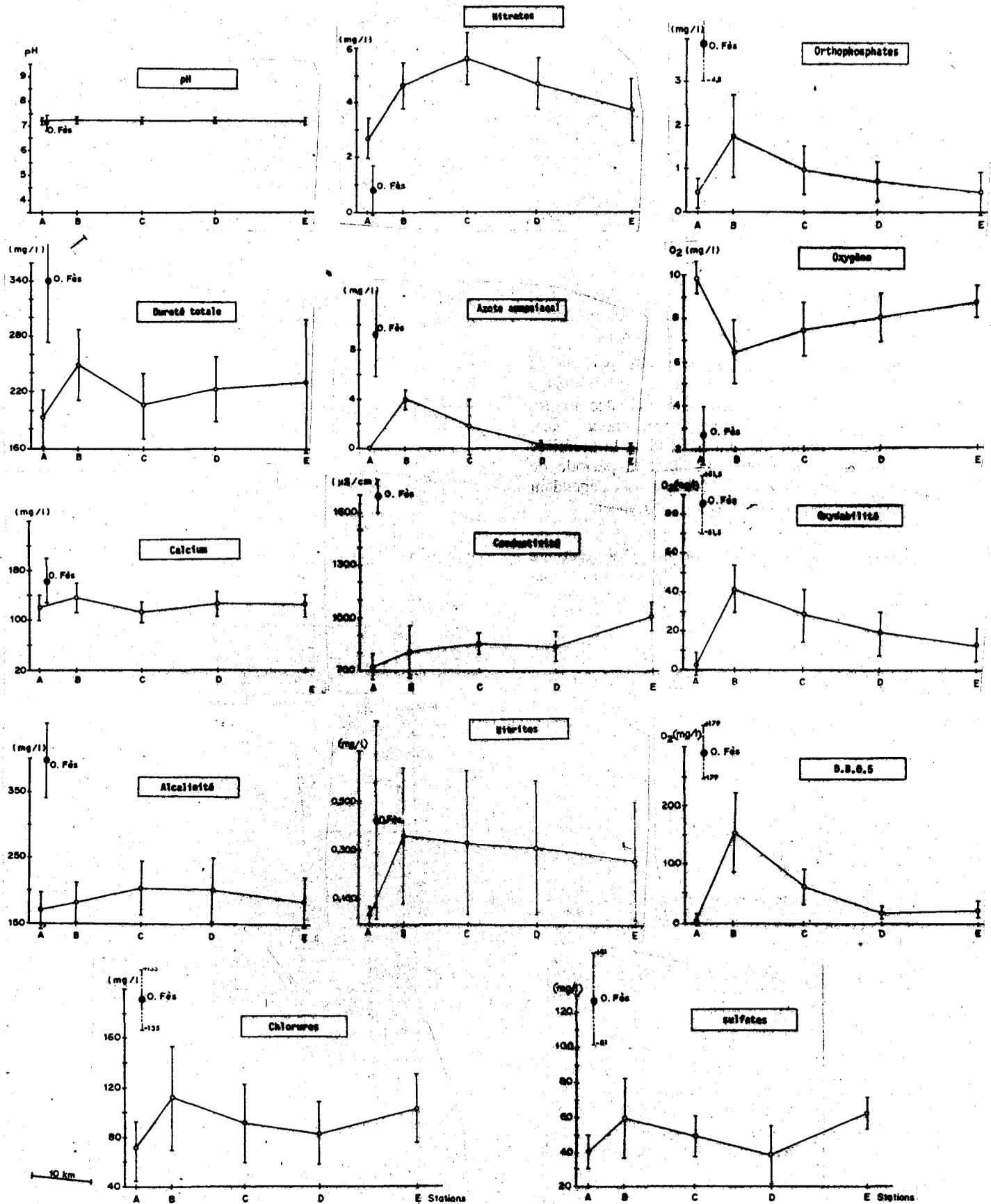


Figure 4: Evolution spatiale des paramètres physico-chimiques de l'eau (moyennes et écarts-types).

Une autre constatation est celle de la variabilité des résultats, se traduisant par la dimension des écarts-types, en particulier ceux de l'Oued Fès qui dépassent souvent tous les autres. Il n'a pas été possible de calculer, à partir des mesures instantanées, les flux polluants à chaque campagne: les flux retrouvés dans l'Oued Sebou après la confluence étaient parfois inférieurs, parfois supérieurs à la somme des deux flux d'entrée. Les fortes variations temporelles dans l'Oued Fès (cf matières en suspension) et la durée nécessaire de chaque campagne en sont l'explication probable.

L'impact de l'Oued Fès entre les stations A et B se traduit de façon spectaculaire dans la plupart des paramètres. Selon les cas, la situation revient à celle de l'amont dès la station C (M.E.S., dureté totale), en D (D.B.O.<sub>5</sub>, ammonium, sulfates, chlorures), ou en E (oxygène, orthophosphates). La courbe de l'oxydabilité n'est pas représentée sur la figure; elle suit très régulièrement celle de la D.B.O.<sub>5</sub>. La perturbation de la teneur en oxygène dissout, dernier paramètre à se rétablir, semble donc intéresser au moins une quarantaine de km.

La tendance à une remontée de la conductivité, des sulfates et des chlorures en E doit manifestement être attribuée aux couches salifères du bassin de l'Oued Inaouène. Tout en présentant des aspects voisins, les tracés de la turbidité et des M.E.S. ne sont pas identiques. L'absence de pic de turbidité en B peut être dû à ce que l'Oued Fès véhicule de grosses particules organiques qui sont prises en compte dans les M.E.S. mais non dans la turbidité après décantation.

En B, la concentration en azote ammoniacal devient intermédiaire entre celles des deux oueds à l'amont, mais ce n'est pas le cas des nitrates, dont la courbe est décalée par rapport à la précédente, indiquant une nitrification à partir de l'ammonium et de l'oxygène dissout. En aval de la station C, les nitrates régressent à leur tour, comme le faisaient les orthophosphates en aval de B. Ces sels sont très certainement assimilés par la végétation abondante des stations D et E, macrophytes et périphyton (VINCENT & DOWNES 1980, GRIMM & al. 1981, HOWARD-WILLIAMS & al. 1982).

Il se peut même qu'intervient une dénitrification par les bactéries dans les zones anoxiques du sédiment (KAUSHIK & ROBINSON 1976), favorisée par l'abondance des larves de *Chironomus plumosus* (ANDERSEN 1977 a et b).

A un examen plus approfondi, la tendance en azote ammoniacal semble bien faible par rapport à la D.B.O.<sub>5</sub>, en particulier dans les premières dizaines de kilomètres après les rejets. Le tableau II donne deux

exemples de rejets très chargés, en France. Ils font état de rapports  $\text{NH}_4^+/\text{D.B.O.}_5$  beaucoup plus élevés que ceux de nos moyennes, pour des températures voisines. Dans une étude sur la rivière Bug, en Pologne, PASTERNAK & STARZECKA (1979) soulignent qu'un rapport élevé  $\text{D.B.O.}_5/\text{D.B.O.}_2$  (retard dans la D.B.O) avec des teneurs réduites en ammonium indique une carence en substances protéiques facilement biodégradables et/ou la présence de substances toxiques inhibitrices de l'activité des bactéries responsables de la dégradation de la matière organique.

Considérant l'activité des tanneries bien connues à Fès on conçoit mal un défaut de substances protéiques, mais fort bien une inhibition de l'ammonification par des micropolluants. Une autre explication possible serait la rapidité de la nitrification dans les conditions de l'Oued Sebou, qui transformerait l'azote ammoniacal à mesure de son apparition. Les graphiques montrent que ce phénomène ne se produit certainement pas dans l'Oued Fès, où la teneur en nitrates demeure faible et où n'existe pas de végétation capable de fixer ce dernier composé.

Tableau. II: Charge polluante de quelques cours d'eau

	Température	D.B.O <sub>5</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
	°C	mg/l	mg/l
Cance (France, 07)*	22,0	74	7,2
Gier (France, 69)*	22,0	21	5,9
O. Fès (présente étude)	20,8	290	9,3
O. Sebou (SB présente étude)	19,8	155	4,0

\* SRAE Rhône-Alpes 1982

Considérant la variabilité mentionnée d'une campagne à l'autre, cette étude des conditions moyennes doit être affinée par un examen détaillé campagne par campagne. Dans ce but nous avons pratiqué des analyses en composantes principales normées (A.C.P.N.) sur l'ensemble des données recueillies.

## VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES ET RYTHME SAISONNIER

Une première analyse en composantes principales est effectuée sur la matrice des données formée par les 54 prélèvements dans les 6 stations à l'occasion des 9 campagnes, au cours desquelles 15 variables du milieu ont été mesurées (Tableau III); malheureusement, certaines lacunes dans les relevés n'ont pas permis d'inclure les M.E.S. ni l'azote ammoniacal dans l'analyse). Les valeurs propres de l'A.C.P., les cartes factorielles et les cercles de corrélations sont représentés dans les figures 5 et 6. Les 3 premiers axes sont pris en compte pour la description des corrélations entre les variables liées aux structures spatio-temporelles.

Tableau III: Codes de l'A.C.P.

Variables	Code Stations	Code	Campagnes	Code
Débit moyen	De Sebou amont	A	27/11/84	N
Température	Ti Aval confluent	B	24/01/85	R
Turbidité	Tu Sebou aval	C	06/04/85	A
pH	pH Sebou aval	D	20/07/85	T
Alcalinité	Al Sebouaval	E	25/10/85	O
Conductivité	Cs Oued Fès	F	21/12/85	D
Dureté totale	Dt		24/02/86	F
Dureté calcique	Ca		23/04/86	V
Nitrites	N2		16/06/86	J
Nitrates	N3			
Chlorures	Cl			
Ortophosphates	P4			
Sulfates	S4			
Oxydabilité	DC			
D.B.O <sub>5</sub>	DB			
Oxygène	O <sub>2</sub>			

Dans le premier plan factoriel (Fig. 5), l'axe 1 est surtout déterminé par l'oxygène dissous (+ 0,83), opposé à la D.B.O<sub>5</sub> (- 0,80), à l'oxydabilité (- 0,82), aux sulfates (- 0,76) et à la conductivité (- 0,69). Il définit ainsi un gradient de pollution croissant de droite à gauche, qui se traduit par une diminution de l'oxygène et une augmentation de la D.B.O<sub>5</sub>, de l'oxydabilité et de la conductivité. Les variations de cette dernière apparaissent donc davantage liées à l'état de pollution qu'aux teneurs en calcium et en bicarbonates. L'axe 2, par contre, est d'une importance moindre et son interprétation s'avère difficile. L'axe 3 de la figure 6 est conditionné par la température et la turbidité (respectivement - 0,80 et - 0,63). Il définit un rythme saisonnier et donc le gradient été - hiver. Dans les deux cas, l'analyse est dominée par la séparation des deux groupes de stations, celui de l'Oued Fès fortement chargé et celui de l'Oued Sebou. Les variations spatio-temporelles recherchées se trouvent donc masquées par cette première disparité.

Nous avons ainsi été amenés, dans un deuxième temps, à éliminer les données de l'Oued Fès et à introduire une autre variable, le débit de l'Oued Sebou. Comme dans l'analyse précédente, 3 axes sont pris en compte. La figure 7 montre que 3 groupes de prélèvements s'individualisent dans le plan F1 x F2. Le gradient gauche-droite est défini par les facteurs qui caractérisent un état de pollution, tels la D.B.O<sub>5</sub>, l'oxydabilité, les nitrites, les nitrates, la turbidité, mais également par le calcium et les sulfates, opposés à l'oxygène et au débit.

Ainsi le premier groupe de prélèvements à gauche peut être considéré comme le pôle de bonne qualité physico-chimique. Allié à l'oxygène dissous, il comprend la plupart des données de la station témoin (A) et certaines données de l'aval lorsque la restauration est quasi-complète, soit celles des campagnes de février, avril et juin 1986.

Plus à droite, dans le deuxième groupe de prélèvements, on trouve ceux de qualité intermédiaire, relativement pauvres en chlorures et en phosphates, de dureté totale plus réduite et de pH plus faible, tout en étant plutôt riches en autres éléments nutritifs et donc associés à une conductivité élevée. Ce sont les prélèvements qui témoignent d'une restauration sensible mais non complète vers l'aval.

A droite, le troisième groupe marque manifestement la zone de pollution intense. Tous les points représentés témoignent d'une qualité très perturbée, comme c'est le cas des stations B et C lors de plusieurs campagnes.

Dans le plan factoriel F1 x F3 (Fig. 8), on retrouve à peu près la même structure, mais, cette fois-ci, avec un effet de saisonnalité qui se manifeste selon l'axe 3. Ce dernier est conditionné par la température et la turbidité (respectivement -0,86 et 0,67). Il fait apparaître un cycle saisonnier, déterminé par un été chaud (juillet 1985 et juin 1986), un hiver froid (janvier 1985, décembre 1985 et février 1986) et une période intermédiaire qui correspond à l'automne (novembre 1984 et octobre 1985) et au printemps (avril 1985 et avril 1986).

Les analyses ont attiré l'attention sur l'influence du débit. La figure 2 montre que nous avons, de ce point de vue, 3 groupes de prélèvements: d'abord prélèvements à débit moyen jusqu'en avril 1984 (13 à 15 m<sup>3</sup>/s), puis 3 autres à débit plus fort jusqu'en décembre 1985 (5 à 9 m<sup>3</sup>/s); les 3 derniers voient le passage d'un débit fort (56 m<sup>3</sup>/s) à un débit plus moyen (25 m<sup>3</sup>/s) entrecoupé d'épisodes de crues.

Notons qu'il y a des échantillons hivernaux dans les trois groupes et qu'ils ne traduiront pas des différences de température. Lors de l'analyse précédente, nous avons proposé de considérer l'axe I comme une description synthétique de la qualité de l'eau. En reproduisant les coordonnées des prélèvements le long de cet axe, mauvaise qualité en ordonnées négatives et bonne qualité en ordonnées positives, la figure 9 traduit les changements au cours du temps dans les 5 stations successives de l'Oued Sebou. L'apport de l'Oued Fès entre les stations A et B est indiqué d'une flèche.

Les variations de la qualité des eaux dans la station amont peuvent être considérées comme un 'bruit de fond' dû notamment au climat; tous les autres tracés reproduisent cette même forme, avec 3 valeurs intermédiaires, 3 valeurs faibles et 3 valeurs élevées, ce qui est logique puisque le débit est un facteur prépondérant dans l'analyse (Fig. 7).

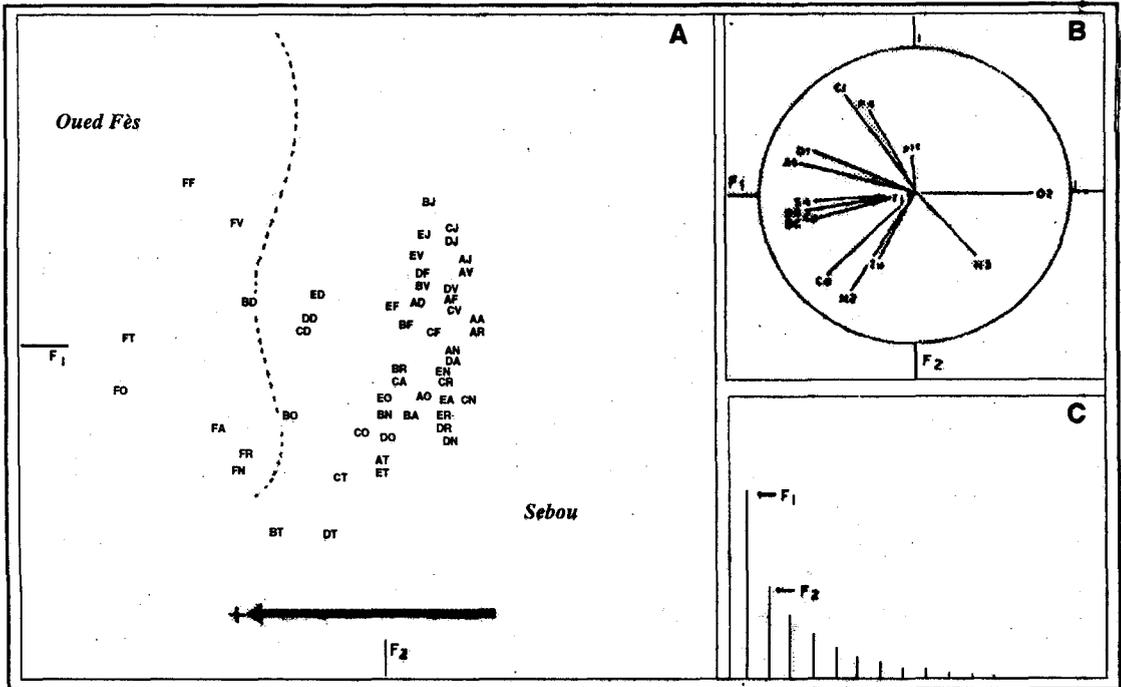


Figure 5: Représentation graphique dans le plan F1 x F2 de la première analyse en composantes principales normée.  
 A- carte factorielle des stations (la flèche indique le sens de pollution croissante).  
 B- carte factorielle des variables .  
 C- valeurs propres de l'analyse en composantes principales.

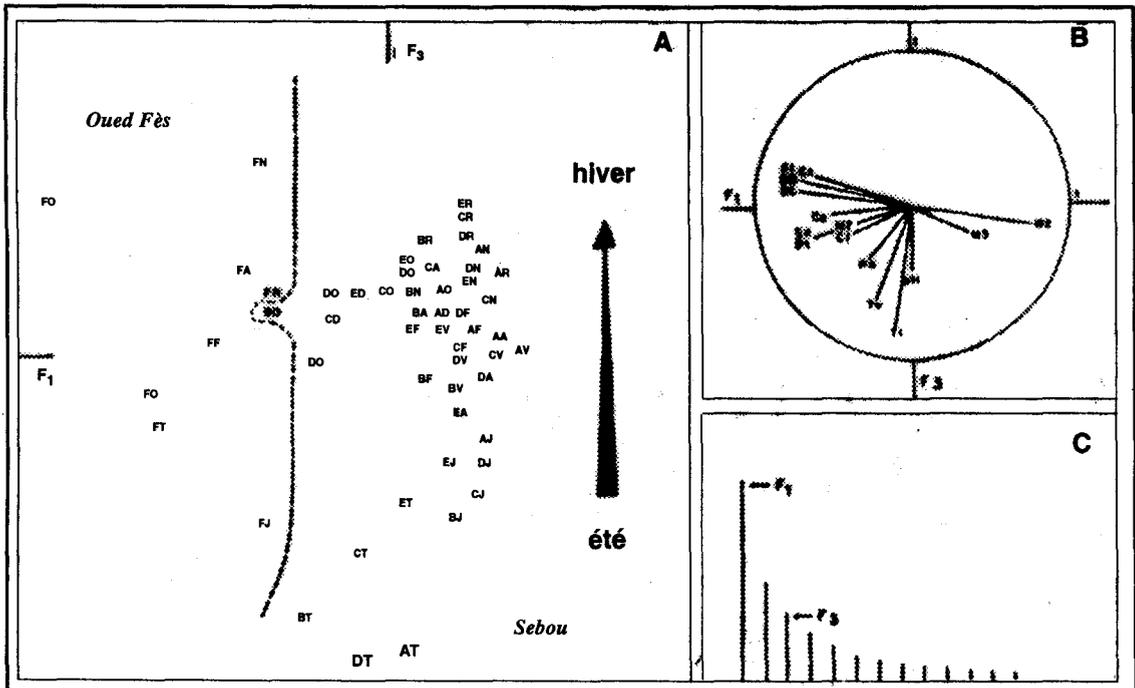


figure 6: Représentation graphique dans le plan F1 x F3 de la première analyse en composantes principales normée.

L'apport de l'Oued Fès a pour effet d'abaisser, par rapport à l'amont, les valeurs intermédiaires de novembre 1984 à avril 1985, et surtout les valeurs minimales de juillet à décembre 1985. Il a peu d'impact sur les valeurs élevées de février à juin 1986. La résorption de la pollution apparaît progressive dans le premier groupe, par débit moyen: les progrès se manifestent surtout entre les stations B et C, mais en avril 1985 plutôt entre C et D. Dans le deuxième groupe, par débit d'étiage, l'amélioration de la qualité de l'eau est plus lente et se poursuit jusqu'en E. Par contre, la pollution semble disparaître dès la station B dans le troisième groupe, par hautes eaux.

Les deux premiers cas traduisent manifestement une auto-épuration, quels que soient les mécanismes en cause, précipitation, absorption, bioaccumulation et/ou biodégradation des matières organiques. Peut-être une dilution par l'Oued Inaouène intervient-elle de façon accessoire en avril 1985. Le troisième cas de figure évoque plutôt une dilution dès la confluence; un déplacement de la contamination à la suite de la

remise en suspension des sédiments, particulièrement chargés en matières organiques et éléments toxiques associés, est alors fort probable.

Cependant la proportionnalité avec le débit n'est pas rigoureuse, témoin l'amélioration régulière de la qualité de février à juin 1986 alors que le débit va en décroissant d'un prélèvement à l'autre. En juin 1986, la D.B.O.<sub>5</sub> à la station B est seulement de 20 mg/l, alors qu'elle était de 426 mg/l en décembre 1985 ! Elle tombe ensuite à 4 mg/l à la station E. Sans doute le lit des oueds a-t-il été nettoyé par les 5 crues précédentes, dont l'effet serait cumulatif et se prolongerait après leur passage, permettant d'y stocker de nouveau une partie des rejets de Fès.

La résorption, en une quarantaine de kilomètres, d'une grande partie de la pollution d'une ville de 550 000 habitants par un fleuve au débit de 8 à 40 m<sup>3</sup>/s est très remarquable. Nous avons cherché de près cette auto-épuration dans le Sebou, en la comparant à celle donnée par les modèles en climat tempéré.

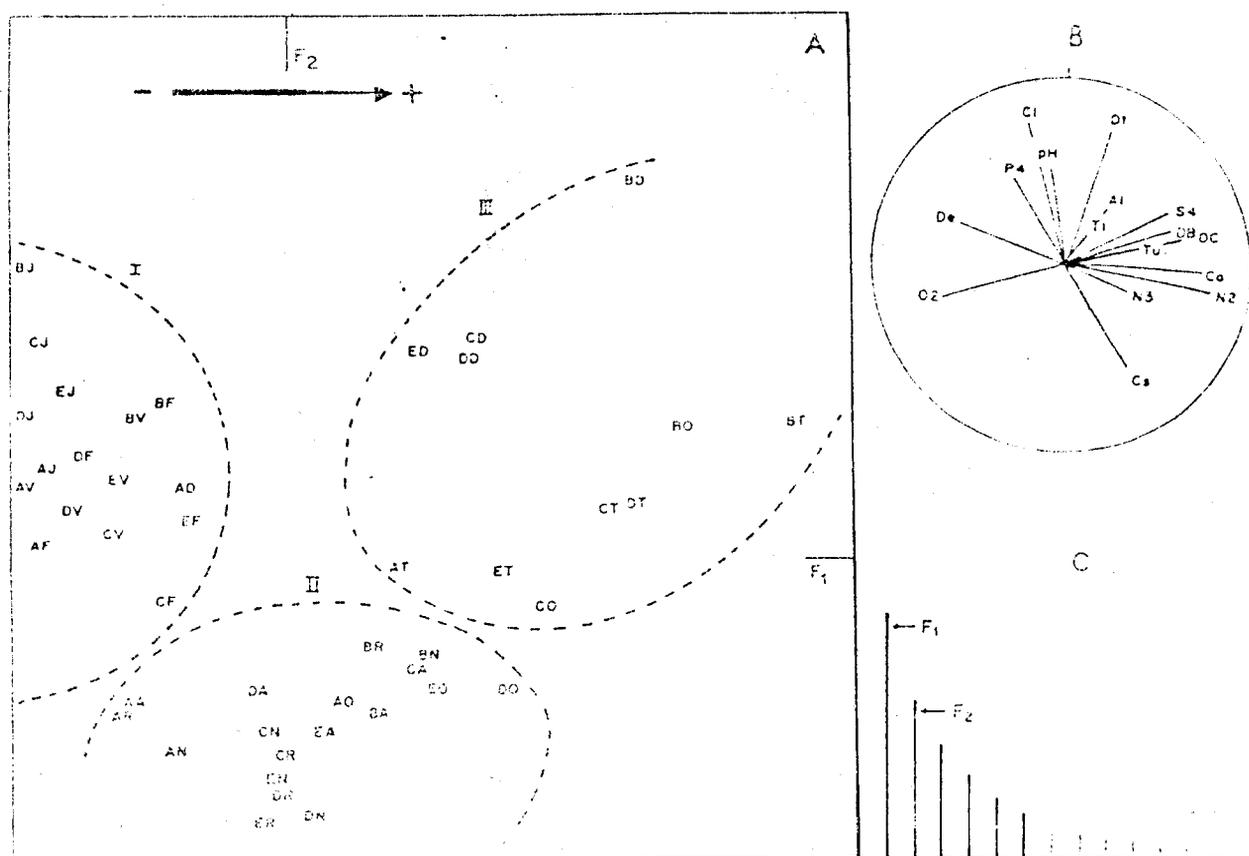


Figure 7: Représentation graphique dans le plan F1 x F2 de la deuxième analyse en composantes principales (sans l'oued Fès). Même légende que pour la figure 5. La flèche indique le sens de pollution croissante.

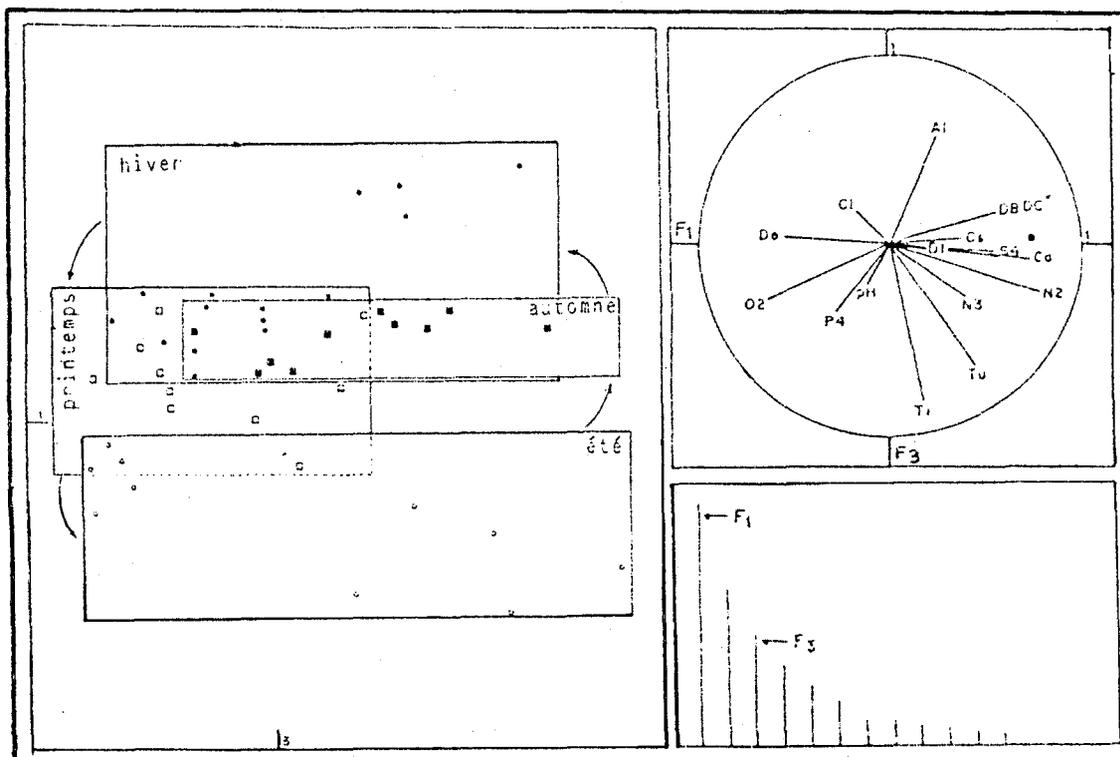


Figure 8: Représentation graphique dans le plan F1 xF3 de la deuxième analyse en composantes principales. Même légende que pour la figure 5. Mise en évidence du cycle saisonnier.

#### COMPARAISON AVEC LA CAPACITE D'EPURATION EVALUEE AU MOYEN DU MODELE DE STREETER & PHELPS (1925)

Dans les conditions moyennes de débit (3 premières campagnes), l'abaissement de la teneur en oxygène de l'oued au confluent est voisine de 2 mg/l. Un calcul à partir de ce modèle, dans sa version revue par McBRIDE & RUTHERFORD (1983), donne le nombre d'équivalents-habitants dont les rejets pourraient se déverser au confluent des deux oueds sans abaisser de plus de 2 mg/l la teneur en oxygène dissous au plus bas de la courbe.

Dans les conditions de débit réduit, soit 8 m<sup>3</sup>/s, la vitesse du courant étant de 0,25 m/s, la profondeur de l'eau de 0,3 m et la températures de 27 °C, le nombre d'équivalents-habitants ainsi "tolérable" serait un peu supérieur à 400 000.

Dans les conditions de plus fort débit, soit 40 m<sup>3</sup>/s, la vitesse du courant étant de 0,75 m/s mais la profondeur de 0,8 m et la température de 16,5 °C, le modèle donne également un nombre d'environ 400000 équivalents-habitants "tolérables" (l'augmen-

tation du débit et du courant étant compensés par la température plus basse et la profondeur plus grande). Nous avons vu que la simple population de la ville, sans compter son industrie, dépasse cet effectif. Or, par fort débit, la qualité de l'eau est néanmoins acceptable et l'abaissement de la teneur en oxygène dissous après le confluent est au plus de 2,1 mg/l (avril 1986).

Le coefficient K1 du modèle représente une mesure de l'abattement de D.B.O. pour un temps de transit standard de 1 jour. Au débit de 40 m<sup>3</sup>/s, ce coefficient est égal à 4,26 dans l'Oued Sebou, valeur élevée d'après les travaux néo-zélandais cités par McBRIDE & RUTHERFORD (1983) qui donnent une gamme de 0,6 à 2 et une seule valeur à 5,2. Cette valeur élevée indique donc, de nouveau, une auto-épuration de l'eau plus forte, même en avril, que celle des pays tempérés, pour lesquels est construit le modèle.

Le débit intervient de façon prépondérante dans le phénomène de dilution. Nous avons donc tenté de cerner son influence de façon plus précise.

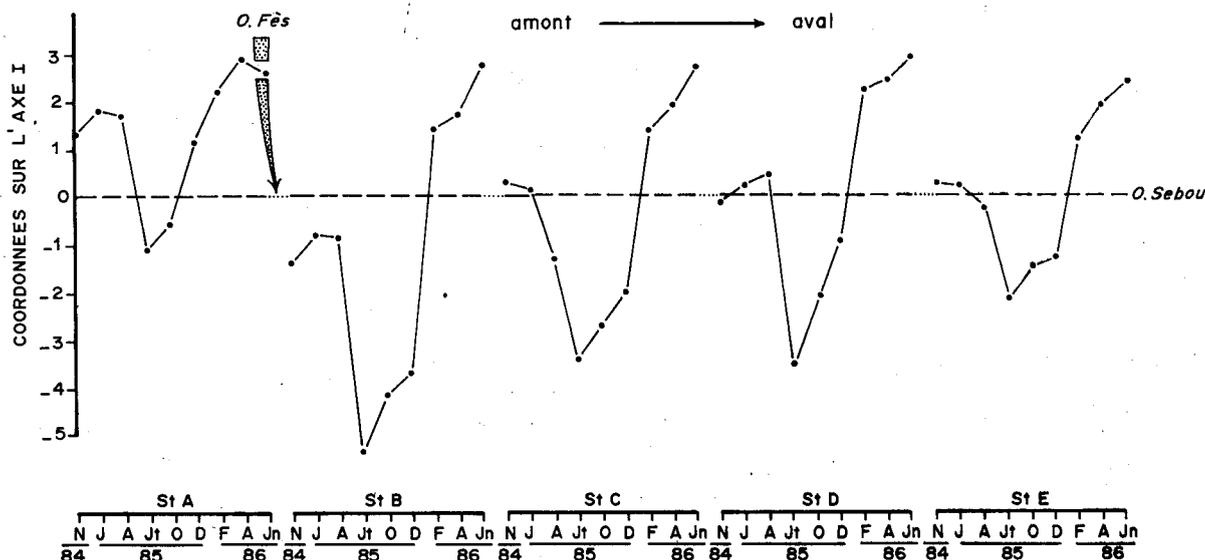


Figure 9: Evolution temporelle de la qualité de l'eau dans les stations de l'Oued Sebou à partir des coordonnées des relevés "stations-temps" sur l'axe I de la deuxième analyse.

### CORRELATIONS DEBIT - CONCENTRATIONS

Le tableau IV fait apparaître une absence de corrélation entre débit et matières en suspension, turbidité (TU), dureté totale (DT), nitrates (N3), sulfates (S4) et orthophosphates (P4). turbidité et matières en suspension (M.E.S.) sont généralement liés aux séquences hydrologiques dans les fleuves, crues et étiages notamment.

Cependant, leurs valeurs ne sont pas nécessairement corrélées à celles du débit; elles dépendent plutôt de la nature exacte des épisodes hydrologiques qui précèdent le prélèvement (FONTVIEILLE, 1987). Comme le signale encore CARREL (1986), la charge en suspension d'une eau est déterminée par le moment de la mesure dans l'hydrogramme général et dans le profil d'une crue particulière, mais aussi par

la provenance exacte des eaux (un ou plusieurs affluents, passage dans un réservoir...). Dans le cours inférieur du Rhône, EL-HABR (1987) explique l'absence de relation entre sels d'azote dissous et débit par la double origine de ces sels: le lessivage des terrains, qui devrait augmenter par temps pluvieux, et les rejets domestiques et industriels, que la pluie devrait diluer, la relation étant encore compliquée par les transformations biologiques.

Par contre, l'absence de corrélation avec les sulfates peut paraître étonnante: dans le Haut- Rhône français et son affluent montagnard l'Arve, qui traverse aussi des terrains gypseux et soumis à quelques rejets industriels atmosphériques, CARREL (1986) relève une relation inverse entre sulfates et débit.

Tableau IV: Valeurs du coefficient de corrélation (R) entre le débit et la concentration des paramètres physico-chimiques.

Stations	CS	O2	DB	OX	TU	DT	N3	N2	N4	P4	CL	MES	S4
St A	-0,46	0,47	-0,57	0,59	-0,23	-0,11	0,07	-0,67	-0,31	0,4	0,794	-0,26	-0,56
St B	-0,54	0,835	-0,71	-0,63	-0,29	0,22	0,134	-0,7	-0,59	0,39	0,154	-0,31	-0,44
St D	-0,59	0,67	-0,53	-0,39	-0,25	0,029	-0,5	-0,65	0,63	0,276	0,569	-0,2	-0,38

D'après le tableau, une faible corrélation inverse est possible avec la conductivité (CS) et l'oxydabilité (OX). Les régressions suivantes sont significatives:

- avec les chlorures (CL) en station amont; par fort débit et lessivage des terrains, les eaux du haut-Sebou enrichissent le milieu. Elles interfèrent alors avec les apports de la ville qui, au contraire, se trouvent dilués si bien que la corrélation n'est plus significative à l'aval.

- avec la D.B.O.<sub>5</sub> (D.B) près du confluent. C'est cette corrélation inverse qui peut être attribuée à la dilution.

Comme l'ont signalé MANCZAK & FORCZYK (1971), ce type de relation se rencontre dans le cas de rejets bien localisés. En dehors de ce point, les corrélations, également inverses, sont plus faibles.

- avec l'oxygène dissous (O<sub>2</sub>) après la confluence. Cette relation, hautement significative en B, est

classique avec l'azote nitreux ( $N_2$ ) et ammoniacal ( $N_4$ ). Ces formes réduites apparaissent et se maintiennent dans des conditions de fortes D.B.O.<sub>5</sub> et de faibles teneurs en oxygène dissous.

Cette approche fait donc apparaître, d'une part l'influence des sols au niveau des chlorures, d'autre part l'influence immédiate des hautes eaux par dilution de certains composants au confluent.

### CONCLUSIONS

Notre étude fournit deux représentations assez différentes, mais complémentaires, de la situation. Les valeurs moyennes des mesures s'étendent sur 2 ans et demi et recouvrent une période sèche et une période de retour des pluies. Elles montrent une image classique de macropollution intense (HYNES, 1960), avec accroissement de la charge organique et de la charge en sels minéraux au point de rejet, puis résorption progressive de cette charge vers l'aval.

La teneur en oxygène dissous fait preuve du classique déficit temporaire, suivi d'une réaération. Pour ce qui concerne les composés azotés, l'azote ammoniacal est à son niveau le plus élevé dans la zone du rejet; son oxydation conduit à la formation de nitrates dont la concentration maximale se rencontre un peu en aval. Relativement faibles par rapport à la D.B.O.<sub>5</sub>, les concentrations en ammonium révèlent peut-être un défaut dans l'ammonification de la matière organique. Les effets de la ville sont décelables sur une distance de 40 km au moins, le critère le plus sensible étant la teneur en oxygène dissous.

L'analyse en composantes principales normée fait apparaître toute la variabilité temporelle du phénomène. En décrivant un gradient de pollution croissante, l'image des structures inter-variables et l'ordination des relevés qui lui est liée, séparent trois groupes de prélèvements et mettent en évidence l'importance du débit de la rivière: selon les campagnes, soit la station la plus lointaine doit encore être classée dans la zone polluée, soit, à l'inverse, la qualité de toutes les stations de l'Oued Sebou, y compris celle proche du confluent, peut être qualifiée d'acceptable ou même bonne. Par la D.B.O.<sub>5</sub> et l'oxygène dissous, le facteur débit, lié à la saison et à la pluviosité générale de l'année, gouverne

manifestement ces changements radicaux, mais il ne s'agit pas d'une simple dilution.

Malgré son caractère rudimentaire, le modèle de STREETER & PHELPS (1925) apporte ici la confirmation que les capacités de récupération du cours d'eau sont exceptionnelles, et ceci en dépit de la température plus basse qui prévaut en période de hautes eaux. Pour expliquer la qualité acceptable de l'eau dans la partie aval du secteur étudié en avril (D.B.O.<sub>5</sub> = 4), il faut prendre en considération les chasses antérieures causées par les crues, au cours desquelles débit et courant sont encore plus forts, et nettoient profondément le lit. Ces crues s'avèrent donc indispensables à la qualité de l'Oued Sebou.

Cet effet ne s'étend pas à l'Oued Fès, qui demeure toujours intensément pollué. Il est cependant probable qu'à l'instar du Furan à l'aval de Saint-Étienne, en France, tel que le décrivent FIASSON & PATTÉE (1974), l'auto-épuration s'amorce déjà pendant les 3 kilomètres du parcours de cette rivière-égout, bien que les difficultés d'accès n'aient pas permis d'y établir plus d'une station. La charge, mesurée en équivalents-habitants, serait ainsi déjà moins forte au confluent avec le Sebou qu'à la sortie de la ville.

Nous n'avons pas d'autres études de ce genre réalisées en Afrique du Nord (DARLEY, 1987), contrée à laquelle les modèles des pays tempérés comme ceux évoqués plus haut, ou la classification de NISBET & VERNEAUX (1970), s'appliquent assez mal. Il sera intéressant d'observer quels organismes sont capables de coloniser un milieu aussi spécialisé et comment ils réagissent aux changements importants de la qualité chimique de l'eau.

Deux autres questions méritent encore une évaluation. La première est l'étendue des risques d'épidémie microbienne ou parasitaire que fait courir à la population humaine cette pollution à ciel ouvert, selon que la survie des germes s'étend et se restreint au même rythme que la macropollution, ou non. La seconde est le devenir et l'impact des micropolluants rejetés par les nombreux ateliers de la ville et dont nous avons vu qu'ils étaient susceptibles de freiner l'auto-épuration des matières organiques et d'être emportés au loin, vers l'aval. Ces questions ont fait l'objet d'investigations ultérieures.

### REFERENCES

- AFNOR, (1952a).- *Dosage calorimétrique des ions nitrates*. Norme T 90-012. - A.F.N.O.R., Paris, 2 p.
- AFNOR, (1952b).- *Dosage des ions chlore*. Norme T 90-014. A.F.N.O.R., Paris, 2 p.
- AFNOR, (1956).- *Dosage colorimétrique des ions nitrates*. Norme T 90-013. A.F.N.O.R., Paris, 3 p.
- AFNOR, (1971). - *Détermination de la demande biochimique en oxygène (D.B.O)*. Norme T 90-103. A.F.N.O.R., Paris, 5 p.
- AFNOR, (1977).- *Détermination de l'alcalinité (Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet)*. Norme T 90-036. A.F.N.O.R., Paris, 3 p.

- ANDERSEN, J.M. (1977a).- *Importance of denitrification in the sediment of some Danish lakes*. Nordiske Sediment Symp., Salten Skov, Danmark, 10-13 fevrier 1977, 13 p.
- ANDERSEN, J.M. (1977b).- *Importance of the denitrification process for the rate of degradation of organic matter in lake sediments*. In GOLTERMAN H.L. (ed) *Interaction between sediments and freshwater*. Proc. internat. Symp. Amsterdam, 1976, 357-362.
- AUDA, Y. (1983).- *Rôle des méthodes graphiques en analyse des données: application au dépouillement des enquêtes écologiques*. Thèse Univ. Lyon-I, 127 p.
- CARREL, G. (1986).- *Caractérisation physico-chimique du Haut-Rhône français et de ses annexes; incidences sur la croissance des populations d'alevins*. Thèse Univ. Lyon-I: 186 p.
- DARLEY, J. (1987).- *Premier colloque inter-universitaire Maroco-français des Eaux Continentales, Ressources et Assainissement, 22-23 mai 1986, Fès*. - Sci. Eau 6/3, 275-280.
- EL-HABR, H. (1987).- *Les éléments nutritifs du Rhône; leur devenir dans les canaux d'irrigation et les marais de Camargue*. - Thèse Univ. Lyon-I: 149 p.
- FIASSON, S. & PATTEE, E. (1974).- *Etude écologique d'une rivière de la région stéphanoise: le Furan*. *Revue Inst. Pasteur Lyon* 7/2, 167-188.
- FONTVIEILLE, D. (1987).- *La circulation du carbone organique dans les écosystèmes lotiques: cas du phénomène d'autoépuration*. Thèse Univ. Lyon-I 135 p., annexes.
- GOLTERMAN, H.L. (1974).- *Methods for chemical analysis of fresh waters*. I.B.P. Handbook n° 8 Blackwell, Oxford: 167 p.
- GRIMM, N.B., FISHER, S.G., & MINCKLEY, W.L. (1981).- *Nitrogen and phosphorus dynamics in hot desert streams of Southwestern U.S.A.* *Hydrobiologia*, 83, 303-312.
- HOWARD-WILLIAMS, C., DAVIES J., PICKMERE, S. (1982).- *The dynamics of growth, the effects of changing area and nitrate uptake by watercress, Nasturtium officinale, R. Br. in a New Zealand stream*. *J. Appl. Ecol.* 19, 589-601.
- HYNES, H.B.N. (1960).- *The biology of polluted waters*. - Liverpool Univ. Press, 202 p.
- KAUSHIK, N.K. & ROBINSON, J.B. (1976).- *Preliminary observations on nitrogen transport during summer in a small spring-fed Ontario stream*. *Hydrobiologia*, 49, 59-63.
- MANCZAK, H. & FORCZYK, H. (1971).- *Interpretation of results from the studies of pollution of surface flowing water*. *Water Res.*, 5/8, 575-584.
- McBRIDE, G.B. & RUTHERFORD, J.C. (1983).- *Handbook on estimating dissolved oxygen depletion in polluted rivers*. *Water & Soil misc. Publ. Wellington*, 51, 1-69.
- NISBET, M. & VERNEAUX, J. (1970).- *Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et propositions de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques*. *Annls Limnol.*, 6/2, 161-190.
- PASTERNAK, A. & STARZECKA, A. (1979).- *Chemism of the river Nida water and some relations between its bacteriological and chemical features*. *Acta hydrobiol.*, Krakow, 21/4, 361-395.
- RODIER, J. (1976).- *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. Tome I. Dunod, Paris, 5è édition 629 p.
- SRAE RHONE ALPES, (1982).- *Suivi allégé de bassin Rhône-Alpes 1982 S.R.A.E. Rhône-Alpes et Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse*, Lyon. - Fascicule I et annexes
- STREETER, H.W. & PHELPS, E.B. (1925).- *A study of the pollution and natural purification of the Ohio River*. *Bull. U.S.P.H.S.*, 146, 4-29.
- VINCENT, W.F. & DOWNES, M.T. (1980).- *Variation in nutrient removal from a stream by watercress (Nasturtium officinale R. Br.)* *Aquat. Bot.* 9, 221-235

## Adresses des auteurs :

**Mohammed FEKHAOUI**

Laboratoire d'Hydrobiologie  
 Dép<sup>t</sup> de Zoologie & Ecologie Animale  
 Institut Scientifique, B.P. 703 Rabat Agdal  
 MAROC

**Eric PATTEE**

Laboratoire de Biologie Animale & Ecologie,  
 Université Claude Bernard, Lyon I, 43 Bd du 11  
 novembre, F69622, Villeurbanne Cedex  
 FRANCE