

## **ANALYSE STATISTIQUE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA RIVIERE LOT**

par E. ANGELIER, J. M. BORDES, J. C. LUCCHETTA et M. ROCHARD<sup>1</sup>

L'analyse statistique des paramètres physico-chimiques et traceurs du métabolisme de l'écosystème permet d'avoir une vue globale du fonctionnement de la rivière Lot sur une longueur de 370 km. Des groupements de stations apparaissent par l'analyse factorielle des correspondances, caractérisés les uns par l'influence d'un affluent aux eaux froides et peu minéralisées, les autres par l'intensité variable de phénomènes de photosynthèse et de biodégradation.

### **A statistical analysis of physico-chemical parameters of the Lot.**

The statistical analysis of physico chemical parameters and metabolic tracers of the ecosystem provides an overall view of the functioning of the river Lot for a distance of 370 km. From factor analysis there appears to be two groupings of the sampling stations, one characterised by the influence of a cold, poorly mineralised tributary, the other by varying levels of photosynthesis and biodegradation.

Une étude préliminaire du Lot, de 1971 à 1973, avait pour but de mettre en évidence les caractéristiques essentielles de la rivière et le mode de fonctionnement de son écosystème, — sur un parcours de 370 km environ, de Saint-Geniez-d'Olt au confluent avec la Garonne.

L'exploitation des données n'a été possible que par l'utilisation de méthodes statistiques, — coefficients de corrélations et analyse factorielle des correspondances de Benzecri.

Une première analyse a été effectuée à partir des données obtenues en 1971-1972 par Bordes, Lucchetta et Rochard (1973), — 144 prélèvements sur un an en 24 points (tableau I). Pour chaque prélèvement, les données concernent 15 paramètres.

### **1. CORRELATIONS LINEAIRES ENTRE LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DU LOT EN 1971-1972**

Sur le tableau II ont été soulignés les coefficients de corrélation dépassant la valeur critique respectivement aux seuils de 5 %, 1 % et 0,1 %.

---

<sup>1</sup> Laboratoire d'Hydrobiologie ERA 702 du C.N.R.S., Université Paul-Sabatier, 118, route de Narbonne, 31077 Toulouse Cedex.

TABLEAU I. — Stations étudiées de 1971 à 1973.

	Stations	Distance station - confluent	Caractéristiques
1	Saint-Geniez-d'Olt	371 km	Eau courante
2	Castelnau	353	Retenue hydro-électrique
3	Hauterive	333	Eau courante
4	Golhinac	328	Retenue hydro-électrique
5	Lot à Entraygues	312	Eau courante
6	Truyère		Affluent rive droite
7	Aval d'Entraygues	304	Eau courante
8	Amont du Dourdou	292	Eau courante
9	Aval du Dourdou	288	Eau courante
10	Amont du Riou-Mort	269	Bief <sup>(1)</sup>
11	Aval du Riou-Mort	266	Eau courante
12	Amont de Cajarc	223	Bief
13	Cajarc-barrage	219	Retenue hydro-électrique
14	Larroque des Arcs	166	Bief
15	Douelle	146	Bief
16	Luzech-barrage	133	Retenue hydro-électrique
17	Entrée bief de Luzech	133	Bief à très faible courant
18	Sortie bief de Luzech	127	Bief à très faible courant
19	Albas	120	Bief
20	Prayssac	109	Bief
21	Fumel	77	Bief
22	Saint-Sylvestre	59	Retenue hydro-électrique
23	Villeneuve-sur-Lot	50	Bief
24	Le Temple	25	Retenue hydro-électrique

### 1.1. Corrélations entre les ions

Carbonates et bicarbonates sont fortement corrélés au Ca (0,933), Mg (0,742) et K (0,334), un peu moins au Na (0,308). Les nitrates sont liés au Ca (0,434) mais non significativement au Mg ; les nitrites au Ca (0,484) et plus encore au Mg (0,555).

Il n'y a pas de corrélation significative entre les sulfates et le Ca. Or, les rejets de sulfates dans le Riou Mort (jusqu'à 420 mg/l) sont essentiellement des sulfates de zinc, baryum et cadmium.

### 1.2. Régime du Lot et substances dissoutes

*Corrélations avec le débit.* Les nitrates ont une corrélation hautement significative avec le débit (0,344) ; la corrélation avec la silice est pratiquement significative (0,186). Par contre, température (—0,573),

(1) Un bief est limité par une chaussée qui maintient le niveau de l'eau constant en période d'étiage.

TABLEAU II. — Corrélations entre les paramètres mesurés sur le Lot en 1971-72.  
 ..... corrélation significative (Pr 0,05) ; — corrélation hautement significative (Pr 0,01) ; == = corrélation très hautement significative (Pr 0,001).

	Débit	Température	pH	Saturation	Résistivité	Alcalinité	Orthophosphates	Nitrate	Nitrite	Silice	Sulfate	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium
Moyenne	82,063	13,886	7,671	96,939	8072,90	64,936	16,798	424,052	4,925	7,736	7,816	21,245	4,383	3,852	1,415
Ecart-type	74,979	5,487	0,508	10,914	4125,46	27,790	22,423	129,385	4,515	2,362	4,617	10,421	0,197	1,556	0,441
Erreur-type	7,022	0,514	4,756	1,022	386,39	2,603	2,100	12,118	0,423	0,221	0,432	0,976	0,184	0,146	4,160
Débit	1														
Température	-0,573	1													
pH	0,028	0,193	1												
Saturation	0,039	0,098	0,380	1											
Résistivité	-0,098	-0,218	-0,608	-0,169	1										
Alcalinité	0,001	0,149	0,558	0,006	-0,744	1									
Orthophosphates	-0,126	-0,003	0,148	0,037	-0,269	0,515	1								
Nitrate	0,344	0,041	0,179	0,106	-0,394	0,321	0,181	1							
Nitrite	-0,394	0,412	0,395	0,014	-0,261	0,536	0,378	-0,071	1						
Silice	0,186	-0,253	-0,215	-0,049	0,119	-0,252	-0,266	0,169	-0,372	1					
Sulfate	-0,229	0,460	0,036	0,006	-0,269	0,004	-0,013	0,267	0,061	0,105	1				
Calcium	0,037	0,141	0,590	0,022	-0,745	0,933	0,434	0,375	0,484	-0,196	-0,010	1			
Magnésium	-0,134	0,126	0,599	0,051	-0,645	0,742	0,400	0,102	0,555	-0,293	0,056	0,770	1		
Sodium	-0,139	0,071	0,145	0,029	-0,229	0,308	0,182	0,097	0,213	0,001	0,103	0,366	0,317	1	
Potassium	-0,284	0,170	0,217	-0,037	-0,362	0,334	0,154	0,154	0,276	-0,148	-0,042	0,404	0,453	0,471	1

nitrites ( $-0,394$ ), sulfates ( $-0,229$ ) et potassium ( $-0,284$ ) sont corrélés négativement.

*Corrélations avec la température.* La température est fortement corrélée avec les nitrites ( $0,412$ ) et les sulfates ( $0,400$ ), un peu moins avec le pH ( $0,193$ ). La corrélation est négative avec la résistivité ( $-0,218$ ), la silice ( $-0,253$ ) et surtout le débit.

L'absence de corrélations nettes entre le débit et pH, résistivité, alcalinité et calcium suggère que ces paramètres sont liés à d'autres facteurs, — en l'occurrence la nature géologique des terrains traversés. La Truyère, avant son confluent avec le Lot, à Entraygues, a traversé des terrains éruptifs peu solubles. Ses eaux sont caractérisées par une résistivité élevée ( $17$  à  $20\,000$  ohms/cm/cm<sup>2</sup>), un pH voisin de la neutralité, une très faible minéralisation. Toutefois, les concentrations en silice sont plus élevées que celles du Lot (toujours plus de  $10$  mg/l). Les eaux sont également plus froides que celles du Lot. Ce dernier, qui a traversé les Causses, a une faible résistivité ( $4$  à  $9\,000$  ohms/cm/cm<sup>2</sup>), résultant d'une minéralisation élevée. Les qualités physico-chimiques du Lot, en aval de son confluent avec la Truyère, sont fonction du débit respectif des 2 rivières. Le débit moyen de la Truyère est plus important que celui du Lot, mais, actuellement, la proportion des 2 rivières à leur confluent dépend en majeure partie des éclusées opérées par l'E.D.F. à partir des retenues hydro-électriques.

## 2. ANALYSES FACTORIELLES DES CORRESPONDANCES SUR LES PARAMETRES MESURES EN 1971-1972

Cette analyse permet de décrire les éventuelles proximités existant entre les paramètres physico-chimiques, entre les stations et entre paramètres et stations. Les données chiffrées ont été regroupées chacune en 3 ou 4 classes (tableau III).

Une première analyse a été effectuée sur 24 stations et les moyennes annuelles des différents paramètres pour chacune d'elles. L'ensemble des points constitue un nuage dont 2 axes seulement rendent compte de  $98,94$  % de l'inertie. Le premier, seul, est caractérisé par un pourcentage d'inertie de  $84,55$  %. Nitrates, sodium, température, fer, calcium, résistivité et chlorures sont, par ordre décroissant, les paramètres les mieux corrélés à cet axe. Il représente à la fois la disposition naturelles amont-aval des stations (qu'atteste la température) et un enrichissement de l'eau en substances liées à l'activité humaine sous toutes ses formes (nitrates, chlorures, fer, par exemple).

Le second axe traduit manifestement l'influence de la nature géologique de la roche-mère, des eaux peu minéralisées de la Truyère aux eaux calcaires provenant des Causses. Deux stations se détachent nettement : le Riou Mort, à l'extrémité de l'axe 1 (qui draine la pollution du bassin de Decazeville), et le Dourdou, autre affluent rive gau-

TABLEAU III. — Regroupement des données quantitatives en classes pour l'analyse factorielle des correspondances.

Débit <sup>(1)</sup> m <sup>3</sup> /s	D <sub>1</sub> < 3	3 < D <sub>2</sub> < 50	50 < D <sub>3</sub> < 150 D <sub>4</sub> > 150
Température (°C)	T <sub>1</sub> < 10	10 < T <sub>2</sub> < 15	15 < T <sub>3</sub> < 20 T <sub>4</sub> > 20
pH	pH <sub>1</sub> < 7,4	7,4 < pH <sub>2</sub> < 7,9	pH <sub>3</sub> > 7,9
Saturation en O <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> <sub>1</sub> < 97	97 < O <sub>2</sub> <sub>2</sub> < 102	O <sub>2</sub> <sub>3</sub> > 102
Résistivité (ohms.cm <sup>-1</sup> )	R <sub>1</sub> > 10 000	5 500 < R <sub>2</sub> < 10 000	R <sub>3</sub> < 5 500
Alcalinité (mg/l CO <sub>3</sub> Ca)	Al <sub>1</sub> < 37	37 < Al <sub>2</sub> < 65	Al <sub>3</sub> > 65
Phosphates (μg/l P)	P <sub>1</sub> < 10	10 < P <sub>2</sub> < 25	P <sub>3</sub> > 25
Nitrates (μg/l N)	NT <sub>1</sub> < 350	350 < NT <sub>2</sub> < 550	NT <sub>3</sub> > 550
Nitrites (μg/l N)	NI <sub>1</sub> < 3	3 < NI <sub>2</sub> < 5	NI <sub>3</sub> > 5
Silice (mg/l SiO <sub>2</sub> )	Si <sub>1</sub> < 6,2	6,2 < Si <sub>2</sub> < 8,5	Si <sub>3</sub> > 8,5
Ca (mg/l Ca)	Ca <sub>1</sub> < 14	14 < Ca <sub>2</sub> < 24	Ca <sub>3</sub> > 24
Mg (mg/l Mg)	Mg <sub>1</sub> < 3,5	3,5 < Mg <sub>2</sub> < 5	Mg > 5
Na (mg/l Na)	Na <sub>1</sub> < 3,8	3,8 < Na <sub>2</sub> < 5	Na <sub>3</sub> > 5
Turbidité (U.J)	Tu <sub>1</sub> < 1	1 < Tu <sub>2</sub> < 2,5	Tu <sub>3</sub> > 2,5
% transmission lumière	Tr 1 > 97	97 > Tr <sub>2</sub> < 94	Tr <sub>3</sub> > 94
Chlorophylle a (μg/l)	Ch <sub>1</sub> < 2,5	2,5 < Ch <sub>2</sub> < 6	Ch <sub>3</sub> > 6
Pigments totaux (μg/l)	Pi <sub>1</sub> < 3	3 < Pi <sub>2</sub> < 8	Pi <sub>3</sub> > 8
Biomasse algale <sup>(2)</sup> (μg/l)	Bi <sub>1</sub> < 20	20 < Bi <sub>2</sub> < 60	Bi <sub>3</sub> > 60
C en suspension (μg/l)	C <sub>1</sub> < 50	50 < C <sub>2</sub> < 80	C <sub>3</sub> > 80
N en suspension (μg/l)	N <sub>1</sub> < 4	4 < N <sub>2</sub> < 8	N <sub>3</sub> > 8
Chlorophylle			
Rapport $\frac{\text{Chlorophylle}}{\text{pigments totaux}}$	CP <sub>1</sub> < 0,5	0,5 < CP <sub>2</sub> < 0,8	CP <sub>3</sub> > 0,8

che du Lot (et dont l'alcalinité est 4 à 5 fois supérieure). De même, le fer, à l'extrémité de l'axe 1, apporté essentiellement par le Riou Mort, a un poids trop important dans l'analyse ; celle-ci oppose en fait Dourdou et Riou-Mort aux autres stations du Lot.

Nous avons donc été amenés à supprimer ces 2 stations situées sur des affluents, ainsi que le paramètre fer. La corrélation chlorures-Na-K est telle qu'un seul paramètre a été conservé, le sodium. Une nouvelle analyse a donc porté sur 22 stations seulement, sur les moyennes annuelles et saisonnières de 13 paramètres.

### 2.1. Analyse factorielle sur les moyennes annuelles (fig. 1 et 2)

Trois axes rendent maintenant compte de 56,6 % de l'inertie du nuage de points. Le premier a un pourcentage d'inertie de 26,7. Résistivités élevées, faibles teneurs en Ca et Mg lui apportent une contri-

(1) Dans les biefs, à section à peu près constante, les débits sont assimilés au courant. Dans les retenues, une correction a été effectuée en fonction de la section moyenne.

(2) Données A. Dauta (1975).

bution relative élevée, mais négative ( $-78,2\%$ ), ainsi que les faibles concentrations en bicarbonates, nitrates, Mg et P. A l'autre extrémité de l'axe, les contributions importantes sont celles des fortes concentrations en Ca ( $60\%$ ), bicarbonates ( $56\%$ ) et Mg, températures élevées et faibles débits.

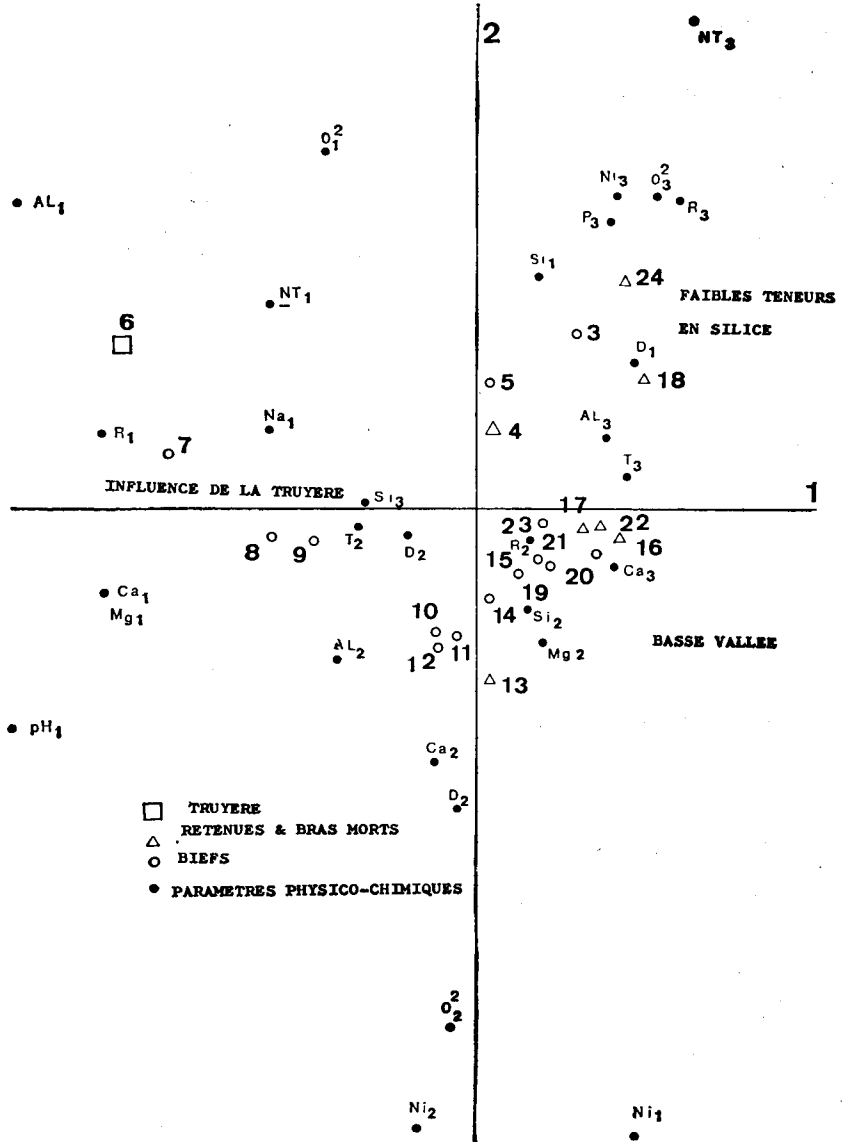


FIG. 1. — Analyse des correspondances entre stations et paramètres sur les moyennes annuelles 1971-1972. Axes 1 et 2.

L'axe 1 correspond de toute évidence au second axe de l'analyse précédente, représentant un gradient qui reflète la nature des terrains traversés. La suppression du Riou Mort dans la nouvelle analyse lui donne une importance qu'il n'avait pas.

Le pourcentage d'inertie du second axe est de 17,2. Les plus fortes contributions relatives à ce axe correspondent aux fortes teneurs en Mg (59,9 %),  $\text{NO}^3$  (55,6 %), sous-saturations et sursaturations en  $\text{O}^2$  (32,2 %), aux minéralisations élevées (mais faibles teneurs en silice), à la fois aux faibles et aux fortes concentrations en  $\text{NO}^2$ , et à la réduction du courant.

L'axe 2 correspond au premier axe de l'analyse précédente, représentant l'action humaine sur la rivière. Celle-ci est exprimée aussi bien par la biodégradation (avec sous-saturation en  $\text{O}^2$  et accroissement de  $\text{NO}^2$ ) que par la photosynthèse (avec sursaturation en  $\text{O}^2$  et faibles concentrations en nitrites). Cet axe traduit aussi le ralentissement du courant. La suppression du Riou Mort dans l'analyse ramène le pourcentage d'inertie de cet axe à une valeur plus faible.

Le pourcentage d'inertie du 3<sup>e</sup> axe est de 12,6. Son interprétation est délicate. Il exprime un gradient qui va de la saturation à la sur- ou sous-saturation en  $\text{O}^2$ , avec des températures élevées, de faibles débits. Cet axe est donc très proche du précédent, si ce n'était l'inversion du gradient de concentration en silice (ce sont maintenant les concentrations élevées qui sont positives sur l'axe).

Sur les axes 1 et 2 apparaissent des groupements de stations affines, c'est-à-dire dont les paramètres physico-chimiques sont voisins. Les stations du cours supérieur du Lot, en amont du confluent avec la Truyère, ainsi que 3 stations du cours inférieur, se caractérisent par des valeurs positives sur les 2 axes. Elles ont en commun une minéralisation élevée, mais de faibles teneurs en silice. L'arrivée des eaux de la Truyère entraîne l'apparition de valeurs négatives sur l'axe 1, pour les stations situées en aval du confluent et pratiquement jusqu'à la retenue de Cajarc. En aval de celle-ci, les stations sont à nouveau positives sur l'axe 1, mais pour la plupart négatives sur l'axe 2.

Les groupements sont quelque peu modifiés par rapport aux axes 1 et 3 (fig. 2). L'influence des eaux peu minéralisées de la Truyère est toujours nette jusqu'à Cajarc. Mais en aval, jusqu'à la retenue de Luzech (st. 16), les stations sont groupées avec celles de la haute vallée du Lot (st. 3, 4 et 5), positives sur l'axe 1, négatives sur l'axe 3. Du bief de Luzech à la retenue du Temple (st. 18 à 24), toutes les stations sont positives sur l'axe 3, par leurs températures élevées, leurs fortes concentrations en sels alcalino-terreux, sursaturations en  $\text{O}^2$ , ralentissement du courant. Les stations de la haute vallée et les 3 dernières stations du Lot, réunies sur l'axe 2, n'avaient finalement en commun que les faibles teneurs en silice.

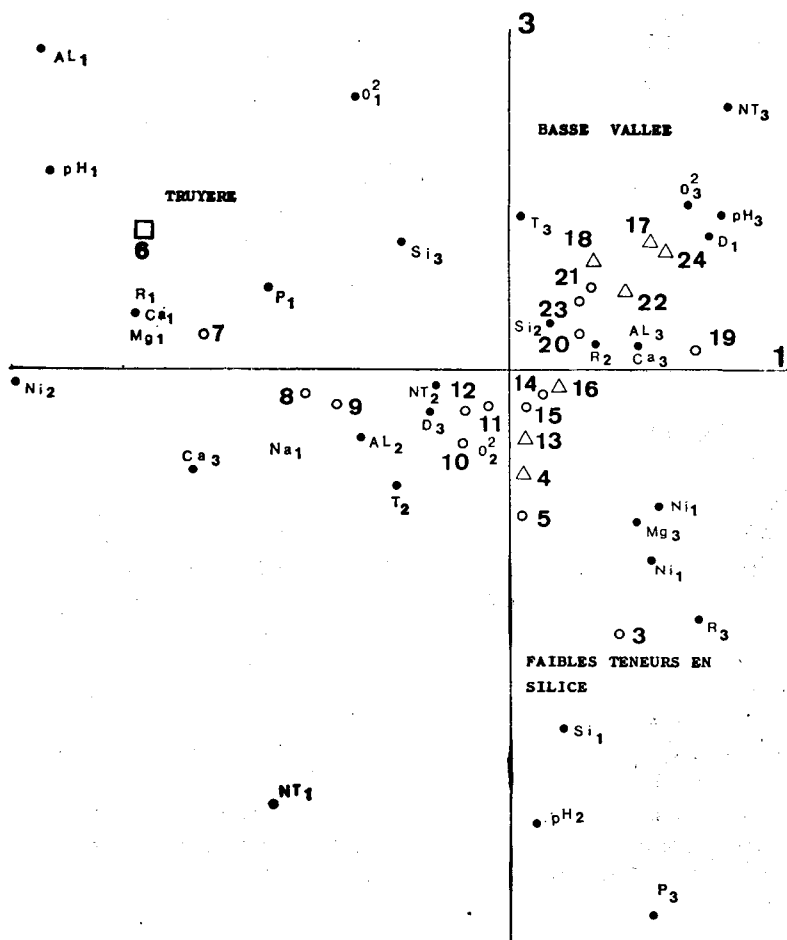


FIG. 2. — Analyse des correspondances entre stations et paramètres sur les moyennes annuelles 1971-1972. Axes 1 et 3.

## 2.2. Analyse factorielle sur les moyennes d'été (fig. 3 et 4)

Trois axes rendent compte de 60,8 % de l'inertie du nuage de points. A une extrémité de l'axe 1 (% d'inertie : 28,1), faible minéralisation, sous-saturation en oxygène, températures inférieures à 15°. A l'autre extrémité, faibles teneurs en silice (contribution relative : — 40,9 %), alcalinités élevées (— 27 %), sursaturation en O<sup>2</sup> (— 26,3 %), faibles courants et températures élevées. La sursaturation en O<sup>2</sup> correspond à la photosynthèse, importante sur le cours inférieur du Lot. Cet axe 1 représente un facteur amont-aval (accroissement de la température, de l'alcalinité), mais il correspond surtout à l'action humaine : ralentissement du courant et développement du phytoplancton. C'est



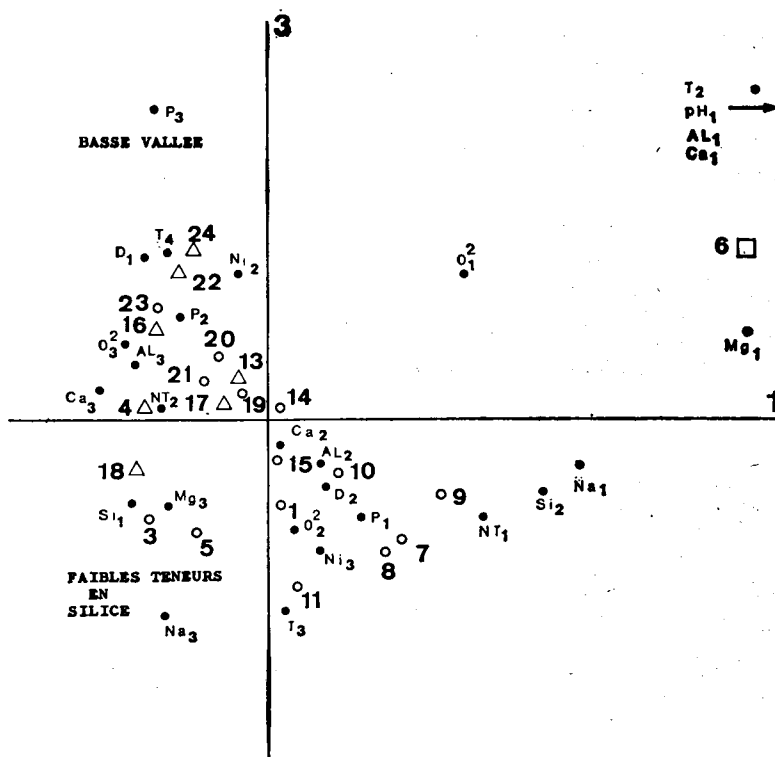


FIG. 4. — Analyse des correspondances entre stations et paramètres sur les moyennes d'été 1971-1972. Axes 1 et 3.

groupements va évidemment changer. Le groupement des stations du cours inférieur vient en position négative sur l'axe 1 (et non plus positive), négative sur l'axe 2, mais positive sur l'axe 3.

### 2.3. Analyses factorielles sur les moyennes d'hiver, de printemps et d'automne

En hiver, l'axe 1 oppose la Truyère et les 2 stations (7 et 8) en aval du confluent au reste du Lot. Il correspond à la minéralisation de l'eau, en rapport avec la nature du bassin-versant. L'axe 2 est l'axe de la silice et oppose les stations situées en amont et en aval du confluent avec la Truyère. Le 3<sup>e</sup> axe oppose les stations des cours supérieurs et moyen du Lot à celles du cours inférieur. Les trois axes reflètent l'influence des terrains traversés. Toutefois, sur l'axe 1, les contributions relatives des sous-saturations et sursaturations en oxygène sont relativement importantes.

L'analyse sur les moyennes de printemps est à peu près identique à celle des moyennes annuelles. Celle effectuée sur les moyennes d'automne donne des résultats très proches de ceux de l'analyse d'été.

L'analyse des paramètres physico-chimiques du Lot, en 1971-1972, met en évidence deux points essentiels :

- l'influence de la Truyère, aux eaux froides et peu minéralisées, sur le cours moyen du Lot.
- une action humaine se traduisant à la fois par des phénomènes de photosynthèse (biefs et retenues à courant faible) et de biodégradation. Ils se traduisent par les variations de concentration en nitrates et nitrites, sous-saturation ou sursaturation en O<sup>2</sup>.

L'axe « action humaine » devient prépondérant en été. C'est pourquoi son étude plus approfondie a été entreprise en 1972-1973. Les corrélations entre paramètres et les analyses factorielles avaient montré que la résistivité ou l'alcalinité suffisaient pour évaluer les relations entre les caractéristiques de l'eau et la nature géologique du bassin versant ; Ca, Mg, PO<sup>4</sup>, Si, ont été éliminés, de même que Na. Au contraire, transmission de la lumière, turbidité, traceurs du métabolisme de l'écosystème, comme la chlorophylle a, phéophytines, carbone et azote des matériaux organiques en suspension, sont les nouveaux paramètres mesurés : 13 paramètres dans 21 stations.

### 3. CORRELATIONS LINEAIRES ENTRE LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET TRACEURS BIOLOGIQUES EN 1972-1973 (tableau IV)

La recherche des corrélations linéaires entre les différents paramètres permet de mettre en évidence :

- en premier lieu, une série de corrélations
  - pigments chlorophylliens — C et N en suspension* ( $r = 0,46$  et  $0,585$ )
  - pigments — température* ( $r = 0,399$ )
  - température — C et N en suspension* ( $r = 0,426$  et  $0,493$ ).

Les matières organiques en suspension à la belle saison correspondent bien en majeure partie à des algues.

- des corrélations qui caractérisent le Lot en été, sur les cours moyen et inférieur, négatives :
  - débit — température* ( $r = -0,311$ )
  - débit — alcalinité* ( $r = -0,384$ )

positives :

- turbidité — température* ( $r = 0,239$ )
- turbidité — alcalinité* ( $r = 0,199$ )
- alcalinité — température* ( $r = 0,309$ ).

Elles relient les faibles débits aux températures élevées, à l'accroissement de l'alcalinité et de la turbidité.

Un dernier groupe de corrélations permet de définir le métabolisme du Lot en été :

TABLEAU III. — Corrélations entre les paramètres mesurés sur le Lot d'août 1972 à juin 1973.  
 ----- Corrélation significative (Pr 0,05) ; ——— corrélation hautement significative (Pr 0,01) ; ——— corrélation très hautement significative (Pr 0,001).

	Débit	Température	Transmission	Turbidité	Alcalinité	Nitrates	Nitrites	Chlorophylle a	Phéophytines a	Pigment total a	Carbone	Azote
Moyenne	30,994	14,255	95,161	0,768	77,851	377,744	6,271	345,006	163,762	502,833	454,897	55,344
Ecart-type	35,240	5,040	3,490	1,215	30,292	177,452	5,904	297,487	237,072	394,776	361,150	45,652
Erreur-type	2,719	0,389	0,269	0,094	2,337	13,691	0,455	22,951	18,290	30,458	27,863	3,522
Débit	1											
Température	-0,384	1										
Transmission	-0,092	0,013	1									
Turbidité	-0,101	0,239	-0,675	1								
Alcalinité	-0,311	0,309	-0,011	0,199	1							
Nitrates	0,066	-0,082	-0,293	0,123	0,255	1						
Nitrites	-0,192	0,113	-0,080	0,104	0,214	0,372	1					
Chlorophylle a	-0,085	0,193	0,004	0,056	0,155	-0,181	-0,068	1				
Phéophytines a	-0,209	0,421	-0,105	0,315	0,406	0,069	0,061	0,092	1			
Pigment total a	-0,206	0,399	-0,048	0,223	0,349	-0,111	-0,013	0,784	0,658	1		
Carbone	-0,178	0,426	-0,284	0,438	0,285	0,052	0,151	0,254	0,460	0,465	1	
Azote	-0,239	0,493	-0,170	0,357	0,339	0,069	0,146	0,386	0,595	0,651	0,880	1

positives :

*température — chlorophylle a* ( $r = 0,193$ )

*température — phéophytines* ( $r = 0,421$ )

*turbidité — phéophytines* ( $r = 0,315$ )

négatives :

*débit — phéophytines* ( $r = -0,209$ )

*débit — nitrites* ( $r = -0,192$ ).

L'accroissement de la concentration en chlorophylle a (correspondant à la multiplication des algues) est relié à la température, et non au débit (sur l'ensemble d'une année). Simultanément, température et turbidité sont corrélées aux phéophytines, c'est-à-dire à l'apparition des premiers phénomènes de biodégradation (que confirment les corrélations négatives débit — phéophytines et débit — nitrites).

Les coefficients de corrélation linéaire permettent de connaître les liaisons entre 2 éléments pris point par point. La recherche des corrélations de rang, plus globale, permet de compléter ces informations. Calculées à partir des moyennes sur l'ensemble des stations aux diverses époques de l'année, elles sont significatives au seuil de 5 % pour  $\rho_s$  supérieur à 0,64, significatives au seuil de 1 % pour  $\rho_s$  supérieur à 0,83.

Corrélations de rang négatives :

*chlorophylle a — nitrates* ( $\rho_s = -0,904$ )

*chlorophylle a — nitrites* ( $\rho_s = -0,62$ , à la limite de signification)

*chlorophylle a/pigments totaux — nitrates* ( $\rho_s = -0,64$ )

*chlorophylle a/pigments totaux — nitrites* ( $\rho_s = -0,90$ )

Corrélation de rang positive :

*phéophytines — nitrites* ( $\rho_s = 0,69$ ).

Par l'ensemble des corrélations, linéaires ou de rang, nous pouvons relier deux ensembles de paramètres sur le Lot :

a) l'accroissement des teneurs en chlorophylle, donc en algues, qui correspond à la consommation des nitrates et nitrites.

b) l'accroissement des proportions de phéophytines paraît être la première étape d'une biodégradation qui conduit aux nitrites et nitrates. Les phénomènes de sursaturation et sous-saturation en  $O_2$  mis en évidence en 1971-1972 trouvent ici leur confirmation.

### 3.1. Analyse factorielle des correspondances sur les moyennes annuelles en 1972-1973 (fig. 5 et 6)

Trois axes rendent compte de 53,17 % de l'inertie du nuage de points. L'axe 1 (inertie : 26,5 %) reflète la nature géologique du bassin versant (faibles et fortes minéralisations), mais aussi un facteur

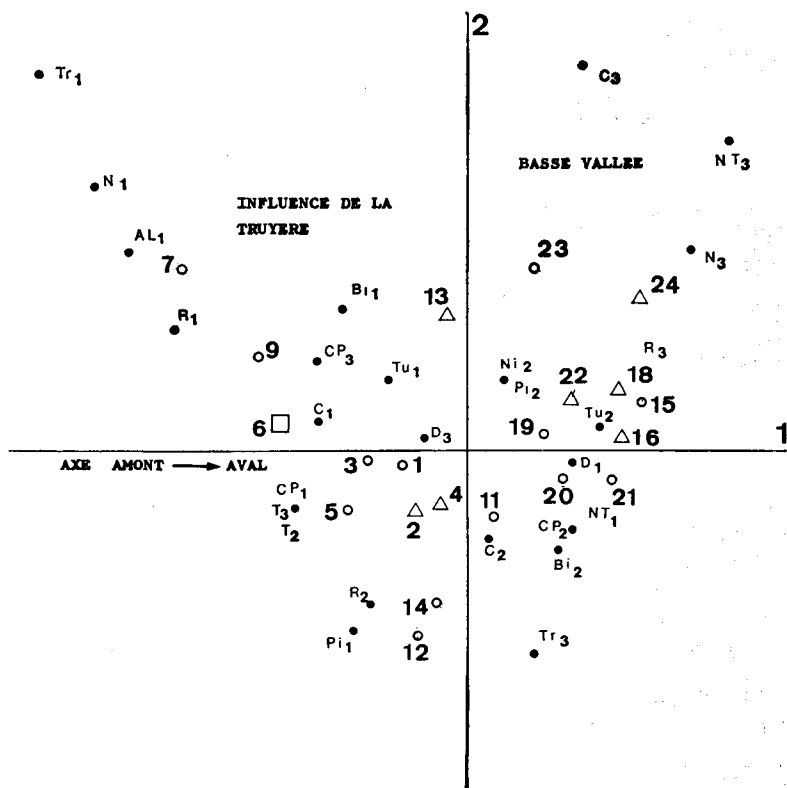


FIG. 5. — Analyse des correspondances entre stations et paramètres sur les moyennes annuelles 1972-1973. Axes 1 et 2.

amont-aval exprimé par l'élévation de la température, le ralentissement du courant, l'accroissement de la turbidité, des matériaux organiques en suspension (C et N), de la biomasse algale. C'est bien l'axe 1 mis en évidence en 1971-1972, mais il traduit en plus l'accroissement de la biomasse du phytoplancton vers l'aval ; il traduit maintenant les conséquences de l'action humaine (construction des biefs et retenues).

Sur l'axe 2, ce sont à la fois les températures élevées et les alcalinités faibles et fortes qui apportent une contribution relative importante, par opposition aux alcalinités et températures moyennes. Le long de cet axe s'opposent d'une part la Truyère, les stations sous son influence directe et le cours inférieur du Lot (positifs sur l'axe), — d'autre part les stations du cours supérieur (en amont du confluent avec la Truyère) et celles du cours moyen.

Par rapport aux axes 1 et 2, les stations affines forment 3 groupes : la Truyère et stations en aval d'Entraygues, aux faibles minéralisations et basses températures (en position négative sur l'axe 1, positive sur l'axe 2). Les stations du cours supérieur du Lot et les

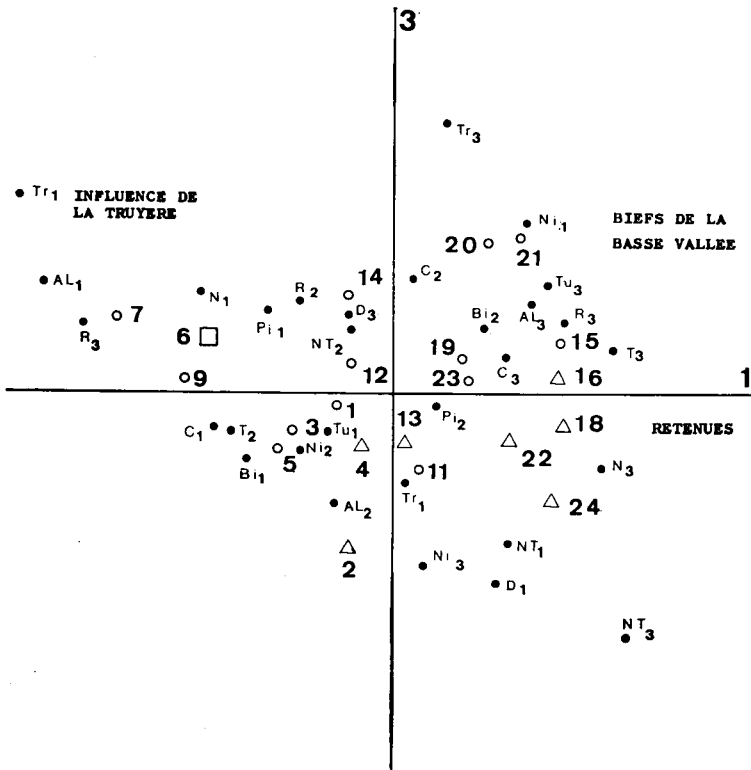


FIG. 6. — Analyse des correspondances entre stations et paramètres sur les moyennes annuelles 1972-1973. Axes 1 et 3.

biefs, de l'aval du Riou-Mort à Larroque-des-Arcs (st. 11, 12, 14), à faible développement du phytoplancton (en position négative sur les axes 1 et 2). Enfin, la retenue de Cajarc et le cours inférieur du Lot, en position positive sur l'axe 1, pratiquement toujours positive sur l'axe 2. Les groupements diffèrent par le fait que la silice ne figure plus dans l'analyse et ne relie donc plus cours supérieur et inférieur, aux faibles concentrations en cet ion.

L'axe 3 (inertie : 11,2 %) est fortement corrélé avec le courant (nul en position négative et faible en position positive ; contribution relative : 43,3 %), les faibles transmissions de la lumière et les turbidités élevées. Il rend compte des modifications du Lot (notamment la turbidité) résultant du ralentissement du courant sur le cours inférieur.

La position du groupe Truyère et stations affines et du groupe du Lot supérieur est identique par rapport aux axes 1 et 3 à celle observée par rapport aux axes 1 et 2. Mais l'ensemble des retenues et biefs de la basse vallée, depuis la retenue de Cajarc incluse, est regroupé en position positive sur l'axe 1, positive ou négative sur l'axe 3 ; ceci en

relation avec les concentrations extrêmes en nitrates et nitrites, les faibles vitesses du courant, les biomasses algales importantes.

### 3.2. Analyse factorielle des correspondances sur les moyennes d'été 1972-1973 (fig. 7 et 8)

Trois axes rendent compte de 54,7 % de l'inertie du nuage de points. Les contributions relatives les plus importantes sur l'axe 1, en position négative, concernent la biomasse algale, les pigments chlorophyl-

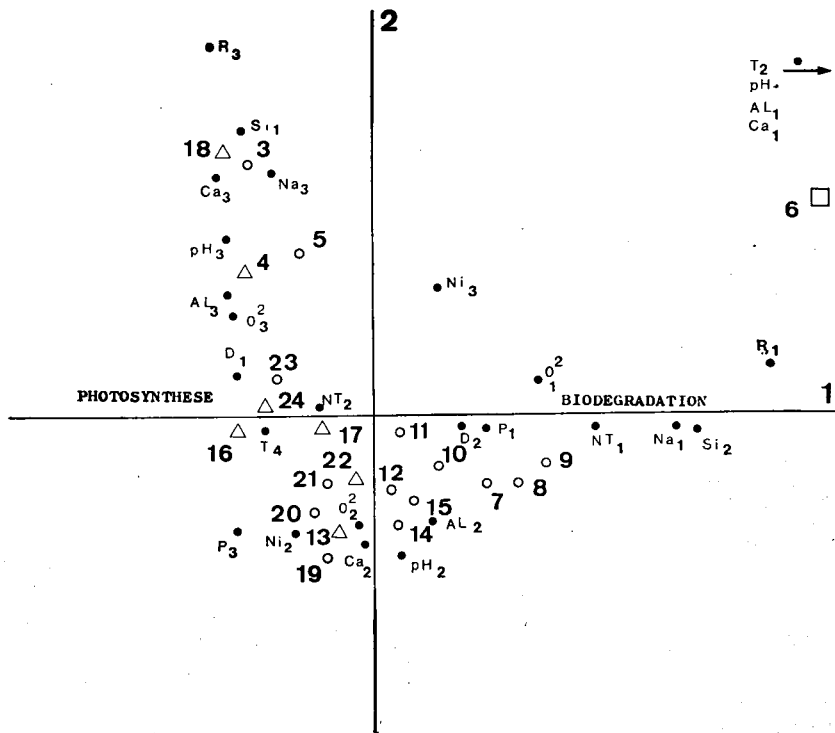


FIG. 7. — Analyse des correspondances entre stations et paramètres sur les moyennes d'été 1972-1973. Axes 1 et 2.

liens, C et N (de 62 à 77 %), un rapport chlorophylle/pigments totaux élevé, de faibles concentrations en  $\text{NO}^3$  et  $\text{NO}^2$  (24 à 31 %). Également la faible résistivité, l'alcalinité élevée, la température supérieure à 19°. En position positive, la faible biomasse algale, température inférieure à 19°, résistivité élevée. L'axe 1 (27,4 % de l'inertie) rend compte d'un facteur amont-aval, avec accroissement de la température, de la minéralisation, et surtout de la biomasse algale.

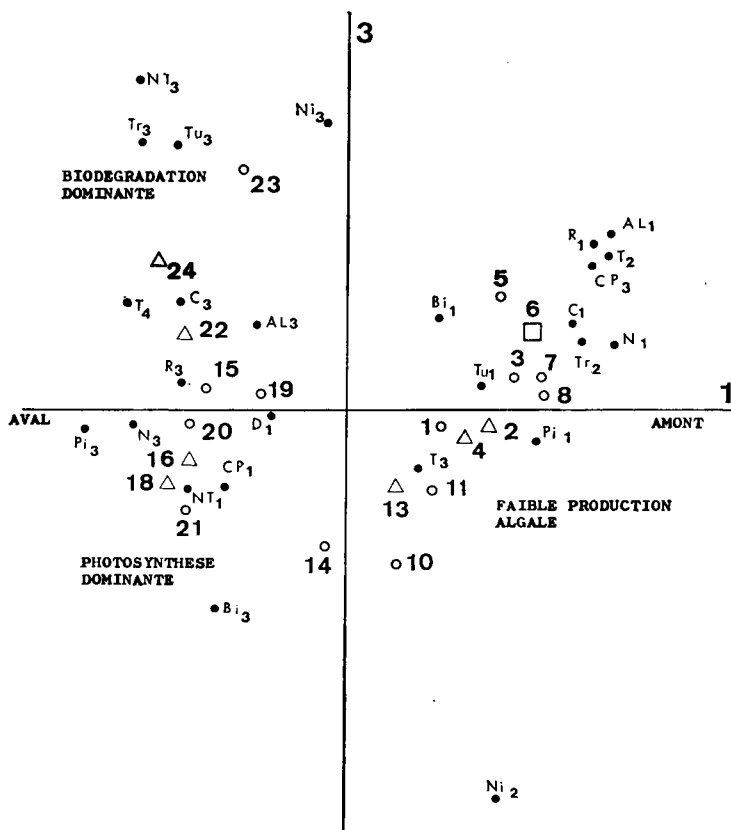


FIG. 8. — Analyse des correspondances entre stations et paramètres sur les moyennes d'été 1972-1973. Axes 1 et 3.

Sur l'axe 3 (inertie : 12,8 %), les contributions relatives les plus importantes, négatives, concernent la biomasse algale élevée, concentration en nitrites faible, température de 15 à 19°, eaux claires. A l'autre extrémité de l'axe, les concentrations élevées en  $\text{NO}^3$  et  $\text{NO}^2$  (contribution relative : 42 à 45 %), eaux troubles, température supérieure à 19°. L'axe exprime, de toute évidence, un gradient qui va de la biodégradation (avec enrichissement en  $\text{NO}^3$  et  $\text{NO}^2$ ) à la photosynthèse (avec absorption de  $\text{NO}^3$ ). Il complète l'axe 1.

Sur les axes 1 et 2, la Truyère est complètement isolée, positive sur les 2 axes. Les stations du Lot, de Saint-Geniez à la retenue de Cajarc, sont regroupées, positives sur l'axe 1 (alcalinité moyenne, influence de la Truyère, faible biomasse algale). Enfin, nettement négatives sur l'axe 1, faiblement positives ou négatives sur l'axe 2, l'ensemble du cours inférieur du Lot, aux eaux très minéralisées, chaudes, à biomasse algale importante, faible concentration en  $\text{NO}^3$ .

Sur les axes 1 et 3, la Truyère et les stations sous son influence directe (st. 7 et 8) sont encore isolées et positives sur les deux axes. C'est un ensemble de stations d'eau courante, faiblement minéralisées et hétérotrophes. Les stations de la haute vallée, et depuis le confluent avec le Riou-Mort (9) jusqu'à Larroque-des-Arcs (12) sont positives sur l'axe 1, négatives sur l'axe 3 (température inférieure à 19°, présence d'une photosynthèse). Enfin, positives sur l'axe 1, les stations de la basse vallée du Lot. Les unes sont négatives sur l'axe 3 (st. 16, 17, 20 et 21), avec une biomasse algale élevée, de faibles concentrations en  $\text{NO}^3$  et  $\text{NO}^2$ , un rapport chlorophylle a/pigments totaux élevé, exprimant la prédominance des phénomènes de photosynthèse. Les autres (st. 22 à 24), aux eaux les plus chaudes, troubles, positives sur l'axe 3, sont au contraire caractérisées par une turbidité élevée, un enrichissement en  $\text{NO}^3$  et  $\text{NO}^2$ , qui traduisent des phénomènes de biodégradation.

### 3.3. Analyses factorielles sur les moyennes d'hiver, de printemps et d'automne 1972-1973

En hiver, les 3 axes correspondent à peu près à ceux de l'analyse sur les moyennes annuelles, mais les phénomènes de biosynthèse n'apparaissent pas. L'axe 1 rend compte du ralentissement du courant, de la minéralisation et de l'enrichissement en  $\text{NO}^3$  (facteur amont-aval). L'axe 2 exprime surtout l'accroissement de la turbidité. Quant à l'axe 3, il oppose à la fois minéralisation élevée et faible aux minéralisations moyennes. Les retenues de la haute et de la basse vallée se regroupent, par rapport à ces 2 axes, en position négative sur 1, négative ou positive sur 2. Les stations d'eau courante de la haute et moyenne vallée, jusqu'à la st. 14, et la Truyère, sont positives sur l'axe 1, positives (Truyère et stations sous son influence directe) ou négatives (Saint-Geniez, région de Cajarc, Albas) sur l'axe 2. Par rapport aux axes 1 et 3, le cours moyen et la haute vallée du Lot deviennent positifs sur l'axe 3 (turbidité élevée), tandis que la Truyère et les stations sous son influence (aux eaux plus claires) sont négatives sur ce même axe.

L'analyse des données de printemps donne les mêmes résultats, sur les 3 axes, que celles des données moyennes annuelles.

De même, l'analyse d'automne est proche de celle d'été ; cependant, le second axe correspond à l'axe 3 d'été.

## 4. CONCLUSION

Les analyses statistiques avaient montré, en 1972, un ensemble de caractères des eaux du Lot qui sont la conséquence de l'action humaine : rejets urbains, industriels ou agricoles, ralentissement du

courant par la construction de chaussées et de biefs conduisant à un développement algal (sursaturation en  $O_2$ ). L'axe « action humaine » dans les analyses factorielles des correspondances, devient prépondérant en été.

En 1972-1973, les recherches ont été concentrées sur les paramètres qui pouvaient être corrélés à cet axe : biomasse algale, pigments,  $NO^3$  et  $NO^2$ , turbidité. L'axe 1 traduit alors, dans les analyses factorielles, un facteur amont-aval, et notamment l'accroissement de la biomasse algale en suspension, du phytoplancton. L'axe 3 correspond à un gradient qui va de la biodégradation à la photosynthèse ; il complète par conséquent l'axe 1 pour la compréhension du fonctionnement de l'écosystème.

Les stations étudiées sur le Lot sont regroupées en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques communes, et notamment des traceurs de l'écosystème. Dans la zone d'influence de la Truyère, d'En-traygues au confluent avec le Riou-Mort, et même plus en aval encore, suivant les saisons, le Lot est une rivière hétérotrophe, aux eaux faiblement minéralisées et froides. Dans la haute vallée (à laquelle peuvent se joindre des stations de cours moyen), les eaux sont plus minéralisées, à photosynthèse réduite. Enfin, les retenues hydroélectriques, de Cajarc au Temple, et les biefs de la basse vallée, aux eaux chaudes, à courant lent ou pratiquement nul, sont caractérisées à la fois par des phénomènes de biosynthèse et de biodégradation.

On a ainsi une vision globale du fonctionnement de l'écosystème du Lot, sur un parcours de 370 km, et des problèmes qui doivent être élucidés pour achever de comprendre ce fonctionnement.

#### TRAVAUX CITÉS

- BORDES (J. M.), LUCCHETTA (J. C.) et ROCHARD (M.). 1973. Etude d'un écosystème d'eau courante : le Lot. *Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Toulouse*, 152 p.
- DAUTA (A.). 1975. — Etude du phytoplancton du Lot. *Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Toulouse*, 107 p.