



CEMAGREF

**ETUDE DU FONCTIONNEMENT
HYDROBIOLOGIQUE ET DES POTENTIALITES
D'EVOLUTION DU LAC DE LOURDES
(HAUTES PYRENEES)**

Décembre 1991

ETUDE N° 52

VILLE DE LOURDES

BORDEREAU D'ENVOI

LOURDES, le 15 mars 2011

SMDRA
4 RUE michelet
65100 LOURDES

D.A/L.N
N° 381

Objet : Etude du fonctionnement hydrobiologique et des potentialités d'évolution du Lac de Lourdes

DESIGNATION	QUANTITES	OBSERVATIONS
Veillez trouver ci-joint l'étude citée en objet. Vous en souhaitant bonne réception.	1	

Responsable du service Environnement



Delphine ARTIGUES

**ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDROBIOLOGIQUE
ET DES POTENTIALITES D'EVOLUTION DU LAC DE LOURDES
(HAUTES PYRENEES)**

- RESUME -

L'étude réalisée par le CEMAGREF sur le lac de Lourdes s'est attachée à déterminer la qualité actuelle du milieu aux plans physico-chimique et hydrobiologique et ses perspectives d'évolution. Ce lac d'une superficie voisine de 45 ha et d'une profondeur moyenne proche de 9 m comporte un temps de séjour des eaux de 1,85 an.

Un suivi hydrologique de trois ruisseaux tributaires a permis de reconstituer les flux de nutriments arrivant au lac et d'en déduire les charges spécifiques en azote et phosphore (environ 35 g/m²/an de Nt et 0,3 g/m²/an de Pt). Ces charges spécifiques montrent que les apports au lac, sans être trop défavorables, sont loin d'être négligeables et devraient déterminer un état eutrophe des eaux.

Le suivi des eaux du lac sur plusieurs stations et quatre campagnes réparties dans l'année pour les paramètres physico-chimiques, les formes des nutriments et les paramètres algologiques (chlorophylles a et populations) indique un état mésotrophe à faiblement eutrophe.

Une tendance à la stratification thermique et au relargage de nutriments par le sédiment a été mise en évidence en période estivale. Cette manifestation souligne la nécessité d'éviter toute remise en suspension des sédiments, qui sont accumulés en grande quantité et dont la richesse en azote et phosphore et la minéralisation inférieure à 80 % représentent un danger potentiel considérable pour l'équilibre du milieu.

A l'heure actuelle la qualité microbiologique est satisfaisante (propre à la baignade) et le peuplement piscicole apparaît équilibré, avec une bonne reproduction et un bon état sanitaire (valorisation par pêche sportive à encourager, en particulier pour le brochet et le sandre).

La végétation aquatique des rives est assez peu diversifiée mais représente un atout important pour la reproduction piscicole. Les formations arborées et arbustives des rives présentent une bonne diversité : par leur rôle paysager, de contrôle du ruissellement et de stabilisation des berges, elles devront être favorisées lors des aménagements.

MOTS CLES

LAC, LIMNOLOGIE, QUALITE DE L'EAU, SEDIMENT, POISSON, FLORE AQUATIQUE,
ALGUE, BACTERIOLOGIE, MIDI-PYRENEES

SOMMAIRE

- OBJECTIF DE L'ETUDE -

- DIAGNOSTIC DE QUALITE DU PLAN D'EAU -

I.- DESCRIPTION GENERALE DU SITE -	2
1./ BASSIN VERSANT, OCCUPATION DU SOL	2
2./ PROTOCOLE MIS EN OEUVRE	5
2.0.- Protocole d'ensemble de l'étude	5
2.1.- Bilan de flux de nutriments et de polluants	5
2.1.1.- Prélèvements d'échantillons d'eau par la DDAF	5
2.1.2.- Evaluation des rejets ponctuels	5
2.2.- Diagnostic de la qualité du lac	5
2.2.1.- Qualité physico-chimique des eaux	5
2.2.2.- Qualité physico-chimique des sédiments	7
2.2.3.- Qualité biologique des eaux	7
2.2.4.- Qualité bactériologique des eaux	7
2.3.- Etude floristique du lac	7
3./ POSITION DES STATIONS DE MESURE	7
4./ BATHYMETRIE	8
5./ BILAN HYDROLOGIQUE	8
II.- LES TRIBUTAIRES -	9
1./ CONCENTRATIONS	9
1.1.- "La tourbière" (IV)	9
1.2.- "Ecuries" (III)	9
1.3.- "Frégate" (II)	9
1.4.- Exutoire (I)	9
2./ CORRELATIONS CONCENTRATIONS/DEBITS	14

3./ FLUX DE NUTRIMENTS RECONSTITUES	14
4./ APPORTS ANNUELS AU LAC - CHARGES INTERNES AZOTE, PHOSPHORE	18
III.- LE LAC -	22
1./ LES EAUX	22
1.1.- Physico-chimie	22
1.1.1.- Paramètres physiques	22
1.1.2.- Paramètres chimiques (tableau n° 3)	22
1.2.- Microbiologie (tableau n° 4)	27
1.3.- Algologie	31
1.3.1.- Biomasse phytoplanctonique	31
1.3.2.- Population algale	31
1.4.- Macrophytes	34
1.5.- Ichtyofaune	37
1.5.1.- Capture des poissons	37
1.5.2.- Résultats	37
1.5.3.- La biomasse	38
1.5.4.- La croissance des principales espèces	39
1.5.5.- Observations subaquatiques	40
1.5.6.- Conclusion	40
2./ LES SEDIMENTS -	40
2.1.- Cartographie sédimentaire	40
2.2.- Analyses de sédiment	42
IV.- ETAT TROPHIQUE -	43
1.- TRANSPARENCE MOYENNE ANNUELLE AU DISQUE DE SECCHI -	43
2.- CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE EN PHOSPHORE TOTAL -	43
3.- CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE EN CHLOROPHYLLE -	43
- CONCLUSION -	46
- BIBLIOGRAPHIE	47
ANNEXES	

- OBJECTIF DE L'ETUDE -

Antérieurement à son acquisition par la ville de Lourdes, le lac était propriété privée : peu d'études y avaient donc été réalisées, comme des relevés floristiques et faunistiques au sein de la tourbière située à l'extrémité Ouest, un rapport sur l'eutrophisation du lac de 1979 (N. ABAD et R. LABAT) et deux articles de Ph. MAYOUX "*La mort du lac de Lourdes*" et "*Le lac de Lourdes, site naturel original et milieu biologique remarquable*" (1978).

L'insertion du lac et de sa tourbière au sein du patrimoine écologique et touristique de la ville, nécessite une caractérisation de leur fonctionnement hydrologique, de leur qualité et de leurs potentialités d'évolution au regard des usages supportés (rejets ponctuels et diffus, baignade, pêche, ...) et des aménagements prévus.

- DIAGNOSTIC DE QUALITE DU PLAN D'EAU -

Quatre campagnes de mesures réparties sur une année ont été menées sur le Lac de Lourdes entre septembre 1990 et août 1991. Durant la même période, des analyses mensuelles ont été réalisées sur les eaux des trois tributaires et de l'exutoire.

I.- DESCRIPTION GENERALE DU SITE -

1./ BASSIN VERSANT, OCCUPATION DU SOL

La carte n° 1 présente le lac au sein de son bassin versant. La superficie de ce dernier est de 260 ha environ, y compris la surface occupée par le lac, soit environ 45 ha.

On constate qu'il s'agit d'un bassin versant d'alimentation réduit au regard de la superficie du lac.

Seuls trois tributaires d'alimentation quasi-permanents ont été répertoriés. Ils ont été nommée "La Frégate" (II), "Ecurie" (III) et "Amont Tourbière" (IV).

L'exutoire (I), fixé par un seuil naturel, se rejette dans le Gave de Pau.

Le relief sur le bassin versant est fort puisqu'il culmine à 562 m (Peyrasses) et que le niveau du lac est à 424 m.

Le substrat géologique est de nature morainique avec une couverture discontinue de limon quaternaire argileux.

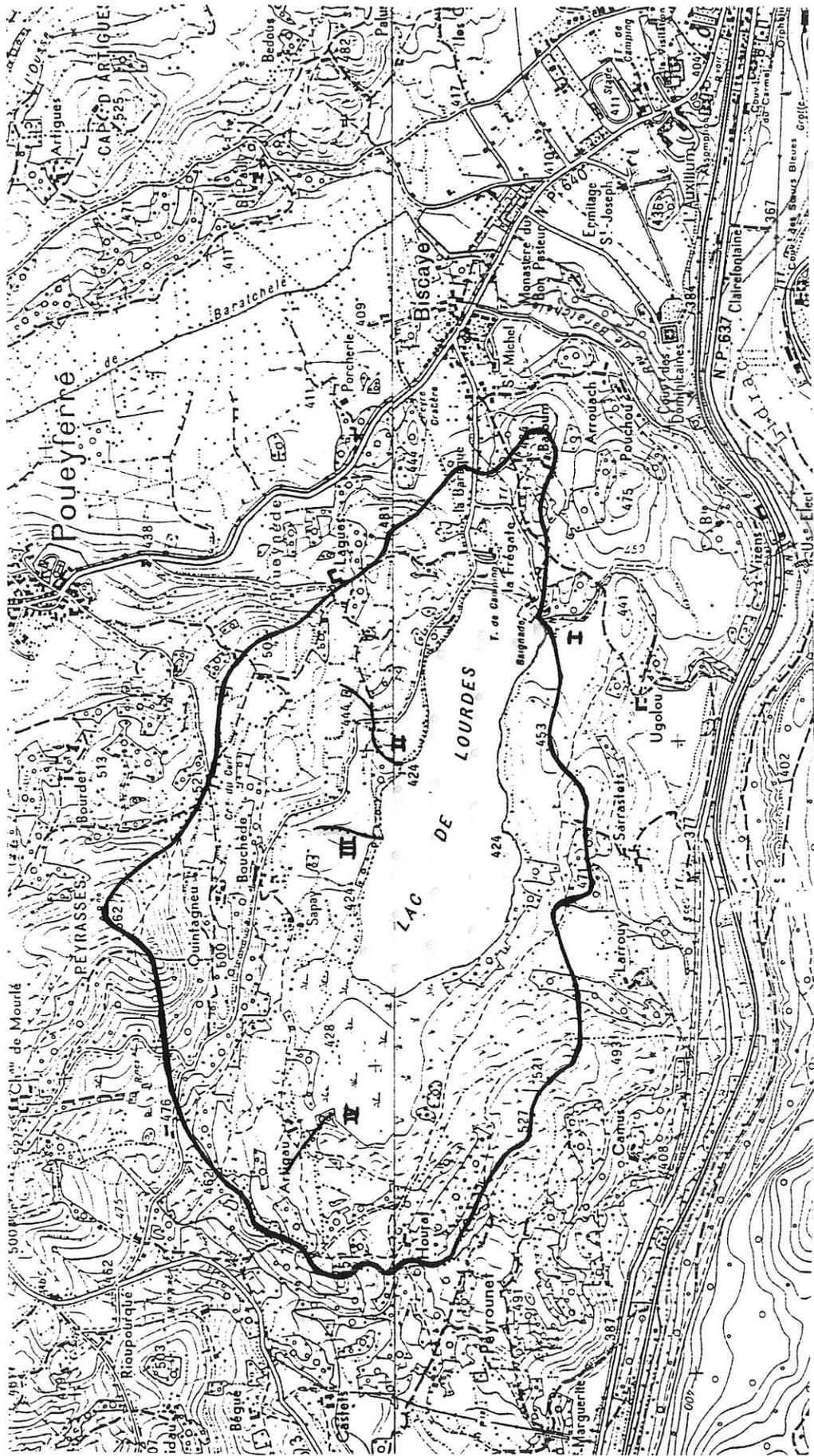
La photographie aérienne reproduite à la page 4 permet de visualiser l'occupation du sol

- les boisements dominant sur les collines des Peyrasses (Quintagneu) et à l'est du lac,
- tout le sud du bassin versant est occupé par un terrain de golf dont les green sont tracés au milieu de boisements,
- une vaste tourbière borde le lac sur la partie ouest,
- le reste du bassin versant est occupé par des parcelles agricoles de structure bocagère (prairies, maïs, céréales).

Les habitations sont très peu nombreuses sur le bassin versant. A l'exception de quelques fermes, il ne faut signaler que la présence du restaurant "Du Lac", le night-club "La Frégat" et le terrain de camping de "La Frégate".

CARTE N° 1 : LE LAC DE LOURDES ET SON BASSIN VERSANT

N ↑
Echelle : 1/19 000





2./ PROTOCOLE MIS EN OEUVRE

2.0.- Protocole d'ensemble de l'étude

Les prestations des divers intervenants à l'étude du lac et de la tourbière de Lourdes concernent :

- la caractéristique globale du bassin versant (par la DDAF),
- le bilan hydrologique (par la DDAF),
- le bilan des flux (par le CEMAGREF),
- l'impact potentiel du golf (par le CACG),
- le diagnostic de la qualité physico-chimique et biologique du lac (par le CEMAGREF),
- l'étude floristique et faunistique de la tourbière (par le GERE).

Le présent rapport ne concerne que les volets réalisés par le CEMAGREF.

2.1.- Bilan de flux de nutriments et de polluants

Les flux de nutriments et de polluants entrant et sortant du lac sont obtenus par croisement de données de jaugeages et de mesures de concentrations.

2.1.1.- Prélèvements d'échantillons d'eau par la DDAF sur les trois affluents et l'exutoire.

Ces prélèvements ont été réalisés lors des relevés d'échelles, avec une fréquence mensuelle. Les paramètres analysés au laboratoire du CEMAGREF sont :

- les formes de l'azote : NO_3 , NO_2 , NH_4 , N Kjeldahl
- les formes du phosphore : PO_4 , Ptotal

2.1.2.- Evaluation des rejets ponctuels (habitations, élevages, restaurants) à partir de l'inventaire réalisé par la DDAF, en fonction de ratios établis.

2.2.- Diagnostic de la qualité du lac

Ces mesures et analyses visent à connaître le degré trophique du lac dans le but de déterminer son degré de sensibilité aux rejets et son potentiel d'évolution.

Les variations saisonnières thermiques, hydrologiques, biologiques, ... nécessitent un suivi étalé sur une année.

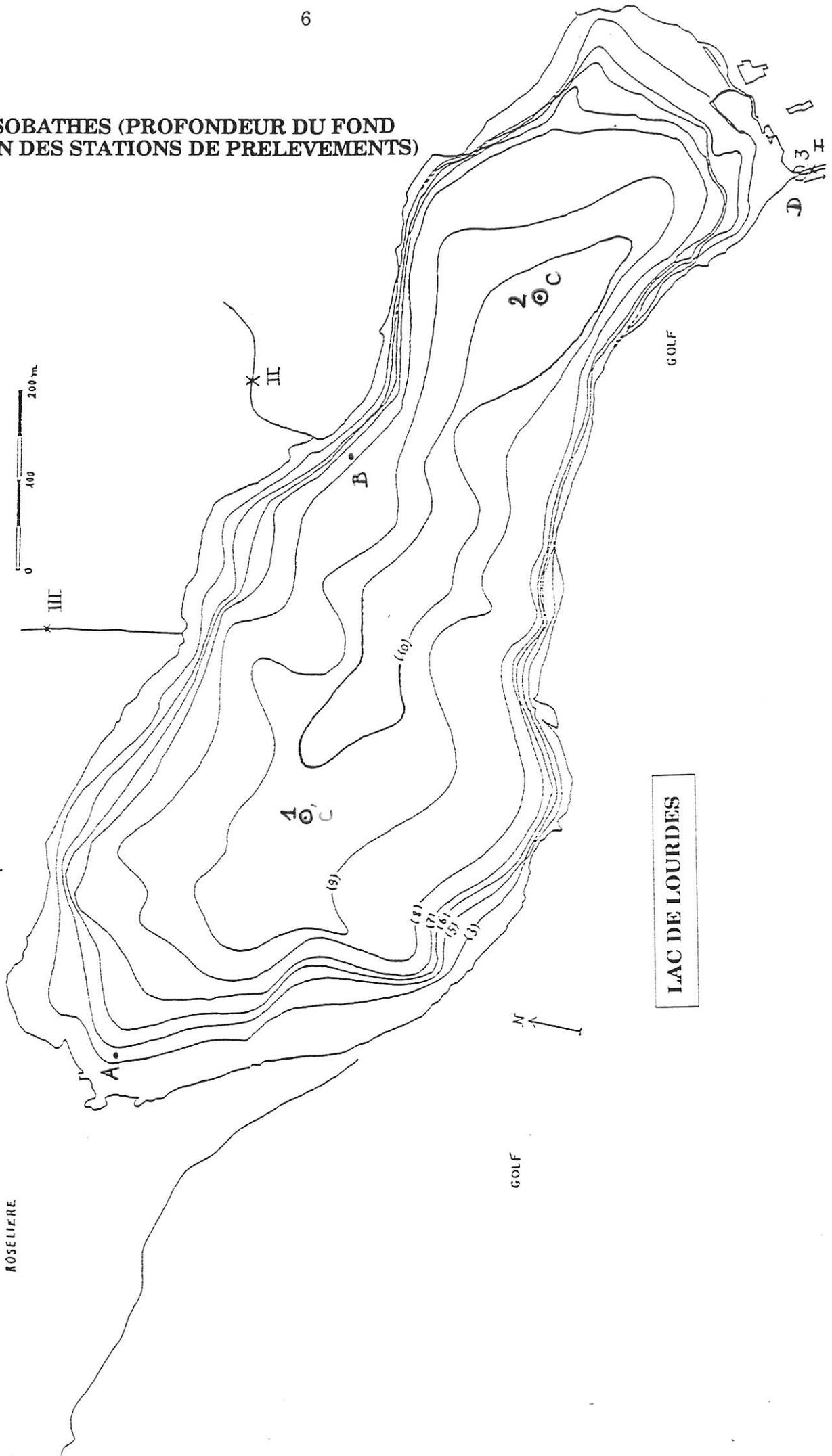
2.2.1.- Qualité physico-chimique des eaux

Quatre campagnes échelonnées dans l'année permettent de rendre compte du fonctionnement du milieu. Elles ont été réalisées à trois profondeurs sur deux stations de prélèvements (une à l'Est, l'autre à l'Ouest) et prennent en compte les paramètres suivants :

pH, conductivité, teneur en O_2 dissous, température, teneur en MES, part minérale des MES, nutriments (NH_4 , NO_3 , NKjeldahl, PO_4 , Ptotal).

CARTE N° 2
COURBES ISOBATHES (PROFONDEUR DU FOND
ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENTS)

- ⊙ STATIONS D'ANALYSES PHYSICO-CIMIQUES (1-2-3)
- STATIONS D'ANALYSES BACTERIOLOGIQUES (A-B-C-D)
- x TRIBUTAIRES (II, III, IV)
- x EXUTOIRE (I)



Compte tenu de l'utilisation actuelle du plan d'eau, une seule analyse de contrôle a été réalisée en été sur chaque station pour les pesticides organochlorés et les hydrocarbures.

2.2.2.- Qualité physico-chimique des sédiments

Les sédiments déposés au fond du lac peuvent jouer un rôle très important dans l'évolution qualitative du milieu par leur rôle de stockage-relargage de nutriments.

Nous avons donc procédé à une cartographie sédimentaire sommaire du lac (épaisseur des sédiments) complémentaire au relevé bathymétrique.

Lors de trois campagnes, des prélèvements ont été fait pour constitution d'échantillons moyens représentatifs de chacune des deux stations choisies. Nous avons réalisé sur ces prélèvements les analyses suivantes : teneur en eau, perte au feu, carbonates, phosphore total, azote Kjeldahl.

2.2.3.- Qualité biologique des eaux

L'environnement du plan d'eau et la référence d'un envahissement de cyanophycées dans le passé nous conduisent à apporter une attention particulière au compartiment algal. Nous avons effectué, sur chacune des deux stations, une caractérisation quantitative et qualitative sur les quatre campagnes par :

- détermination de la biomasse algale par dosage de la chlorophylle *a*,
- détermination de la composition des populations phytoplanctoniques.

La détermination des populations piscicoles du lac a été réalisée par pêche scientifique en collaboration avec la Fédération des Associations Agréées de Pêche et de Pisciculture.

2.2.4.- Qualité bactériologique des eaux

La qualité sanitaire des eaux de cinq stations a été déterminée pour les quatre campagnes par les analyses suivantes :

microflore totale à 22°C, microflore totale à 37°C, coliformes totaux, coliformes thermotolérants et streptocoques fécaux.

2.3.- Etude floristique du lac

Cette étude comporte une cartographie des berges selon la répartition des espèces végétales ainsi qu'un bilan de la présence de végétaux immergés en pleine eau.

3./ POSITION DES STATIONS DE MESURE

Nous avons défini deux stations de référence sur le lac, l'une à l'ouest (station 1) et l'autre à l'est (station 2), au niveau desquelles des prélèvements d'eau et de sédiments ont été réalisés (carte n° 1).

A ces deux points, la profondeur est de 8 à 9 mètres.

4./ BATHYMETRIE

Une bathymétrie sommaire a été dressée, indiquant un **fond de lac relativement plat** avec une **dépression centrale ouest-est** partiellement **comblée par les vases**. Par rapport à la cote du miroir du plan d'eau (-80 cm sous le ponton de l'aire de mise à l'eau), la **profondeur maximale** est de l'ordre de **11 m**. Les berges sont **très pentues** et des fonds de **plus de 5 mètres** sont **rapidement atteints**.

Pour une **longueur d'environ 1300 m** et une **largeur maximale de 460 m**, la superficie du Lac de Lourdes est estimée à **450 000 m²**. Le volume du lac représente environ **3 200 000 m³**.

5./ BILAN HYDROLOGIQUE

Le bilan hydrologique dressé par la DDAF des Hautes-Pyrénées avec l'aide du SRAE Midi-Pyrénées a porté sur diverses mesures :

- pluviométrie,
- évaporation (en fonction de la température),
- jaugeages de l'exutoire du lac et des trois tributaires amont (voir en annexe),
- comptage des prélèvements pour irrigation du golf.

Cette synthèse aboutit aux données principales suivantes :

- pluviométrie annuelle voisine de 1400 mm,
- volume prélevé pour irrigation 27 600 m³/an,
- volume écoulé à l'exutoire environ 1 500 000 m³/an,
- le taux de renouvellement annuel est de 54 % ce qui conduit à un **temps de séjour des eaux dans le lac de 1,85 an**.

II.- LES TRIBUTAIRES -

1./ CONCENTRATIONS

Le tableau n° 1 reprend les données physico-chimiques mensuelles aux différents points de prélèvements.

Les figures n° 1, 2 et 3 montrent les évolutions des concentrations en nitrates, azote total et phosphore total pour les quatre points en fonction du temps.

1.1.- La tourbière (IV)

L'oxydabilité est toujours très élevée (de 3 à plus de 7). Les teneurs en nitrates sont faibles. Les concentrations en ammoniac sont importantes au printemps 1991 et représentent 60 % de l'azote total. Les concentrations en phosphore total sont plus importantes en juin 1991. Ces eaux sont d'assez bonne qualité.

1.2.- Ecuries (III)

L'oxydabilité est très faible. Les concentrations en nitrates sont importantes de décembre jusqu'en mai (supérieures à 10 mg/l), avec une décroissance s'amorçant en décembre et se poursuivant jusqu'en été : il s'agirait d'une perte d'azote d'origine agricole et d'un lessivage des sols par les pluies. Nous retrouvons des faibles teneurs en octobre. Le phosphore total est en augmentation en période estivale.

1.3.- Frégate (II)

Ce tributaire montre de légères variations de pH (6,9 à 8). La conductivité est plus élevée : les eaux sont de 2 à 3 fois plus minéralisées que celles des autres apports. L'oxydabilité est faible. Les concentrations en nitrates sont importantes en décembre. Il s'agit du même phénomène que pour le tributaire "écurie" avec cette fois jusqu'à 27 mg de nitrates par litre en hiver. Une diminution de ce taux de nitrates s'amorce à partir d'avril. Les orthophosphates sont en légère augmentation en août et septembre. Le phosphore total est en augmentation en octobre.

1.4.- Exutoire (I)

L'oxydabilité mesurée est supérieure à celle des deux tributaires "écurie" et "frégate" mais inférieure à celle enregistrée au tributaire traversant la tourbière. Les teneurs en nitrates sont très variables avec des pointes en octobre et décembre. Cela pourrait correspondre au maximum des apports des tributaires. Les nitrites suivent l'évolution des nitrates, traduisant une minéralisation de l'azote organique, la qualité d'eau à l'exutoire étant voisine de la qualité moyenne des eaux du lac. On retrouve peu de phosphore sauf en mai sous forme d'orthophosphate.

Campagnes d'analyses sur les tributaires du lac de LOURDES

Amont Tourbière LOURDES (IV)												
Date préél.	28.11.90	26.12.90	6.2.91	15.3.91	3.4.91	30.4.91	29.5.91	26.6.91				
pH	7,1	7,5	7,5	7,5	7,1	7,2	7,0	7,2				
Conductivité	112	115	115	116	133	135	112	165				
Oxydabilité	-	5,30	3,00	4,40	4,60	3,60	6,20	7,40				
NO3	2,76	4,63	2,34	1,18	2,52	3,52	0,69	2,06				
NO2	0,000	0,047	0,000	0,014	0,020	0,107	0,012	0,051				
NH4	0,063	0,297	0,095	0,103	1,806	0,059	0,000	0,341				
NKJ	0,650	0,564	0,346	0,445	1,899	0,099	0,845	0,877				
NORG	0,601	0,332	0,272	0,365	0,494	0,054	0,845	0,613				
Nt en N	1,273	1,624	0,874	0,716	2,474	0,926	1,004	1,358				
PO4	0,004	0,004	0,014	0,006	0,006	0,008	0,076	0,012				
PTOTAL	0,048	0,128	0,053	0,099	0,122	0,238	0,233	0,953				
Tributaire "Ecurie" LOURDES (III)												
Date préél.	29.10.90	29.10.90	28.11.90	26.12.90	6.2.91	15.3.91	3.4.91	30.4.91	29.5.91	26.6.91	7.8.91	
pH	7,4	7,1	7,3	7,7	7,5	7,6	7,3	7,5	7,1	7,4	7,1	
Conductivité	172	113	160	160	155	155	150	167	147	175	170	
Oxydabilité	-	-	-	0,30	0,60	1,60	0,80	0,80	1,00	0,60	1,20	
NO3	3,92	7,13	2,88	16,98	18,39	14,93	12,83	11,62	10,95	9,90	5,00	
NO2	0,024	0,048	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,005	0,008	0,012	
NH4	0,050	0,203	0,000	0,003	0,001	0,004	0,000	0,000	0,004	0,001	0,003	
NKJ	0,586	0,567	0,019	0,032	0,080	0,141	0,461	0,070	0,532	0,096	0,387	
NORG	0,547	0,409	0,019	0,030	0,080	0,138	0,461	0,070	0,528	0,096	0,385	
Nt en N	1,478	2,192	0,669	3,866	4,233	3,512	3,358	2,694	3,006	2,334	1,520	
PO4	0,025	0,062	0,004	0,004	0,010	0,007	0,024	0,000	0,013	0,006	0,045	
PTOTAL	0,033	0,106	0,035	0,077	0,060	0,085	0,148	0,035	0,127	0,085	0,307	
Tributaire "La Frégate" LOURDES (II)												
Date préél.	3.10.90	29.10.90	28.11.90	26.12.90	6.2.91	15.3.91	3.4.91	30.4.91	29.5.91	26.6.91	7.8.91	4.9.91
pH	7,7	7,4	6,9	8,0	7,3	7,5	7,2	7,4	7,2	7,2	7,1	7,6
Conductivité	315	287	266	298	248	250	257	275	265	310	310	335
Oxydabilité	-	-	-	1,50	1,20	1,00	0,40	1,20	2,80	0,20	6,40	0,65
NO3	6,25	7,34	9,16	26,77	19,54	16,28	20,22	15,11	15,62	15,10	11,27	11,00
NO2	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,001	0,005	0,000	0,000	0,007	0,012	0,001
NH4	0,006	0,096	0,001	0,005	0,000	0,030	0,033	0,002	0,004	0,001	0,001	0,011
NKJ	0,038	0,753	0,048	0,160	0,093	0,311	0,061	0,061	0,074	0,096	0,083	0,387
NORG	0,033	0,678	0,048	0,156	0,093	0,287	0,035	0,059	0,070	0,095	0,083	0,379
Nt en N	1,449	2,414	2,116	6,205	4,505	3,987	4,628	3,473	3,601	3,508	2,631	2,871
PO4	0,000	0,011	0,004	0,004	0,012	0,003	0,026	0,000	0,018	0,006	0,071	0,034
PTOTAL	0,741	0,068	0,042	0,254	0,034	0,291	0,087	0,086	0,101	0,056	0,334	0,254
Exutoire Lac LOURDES (I)												
Date préél.	4.9.90	3.10.90	29.10.90	28.11.90	26.12.90	6.2.91	15.3.91	3.4.91	30.4.91	29.5.91	26.6.91	7.8.91
pH	7,6	7,4	6,6	6,5	7,0	6,9	7,5	7,3	7,5	6,5	6,9	6,8
Conductivité	130	120	193	122	135	115	114	115	170	115	130	135
Oxydabilité	1,40	-	-	-	2,70	2,80	2,60	1,60	3,00	2,80	2,80	3,20
NO3	0,04	0,00	3,98	1,94	5,71	1,18	0,87	1,98	0,59	0,45	0,49	0,26
NO2	0,000	0,000	0,471	0,001	0,127	0,001	0,022	0,015	0,006	0,054	0,008	0,011
NH4	0,000	0,005	0,030	0,092	0,109	0,085	0,067	0,176	0,025	0,147	0,003	0,005
NKJ	0,269	0,295	0,740	0,243	0,544	0,311	1,489	0,730	0,852	0,522	0,371	0,112
NORG	0,269	0,291	0,717	0,172	0,460	0,244	1,437	0,593	0,833	0,408	0,369	0,108
Nt en N	0,278	0,295	1,782	0,681	1,872	0,578	1,692	1,182	0,987	0,640	0,484	0,174
PO4	0,017	0,000	0,052	0,011	0,004	0,015	0,016	0,010	0,000	0,161	0,009	0,070
PTOTAL	0,066	0,503	0,122	0,080	0,108	0,061	0,291	0,098	0,115	0,297	0,134	0,297

Figure n° 1

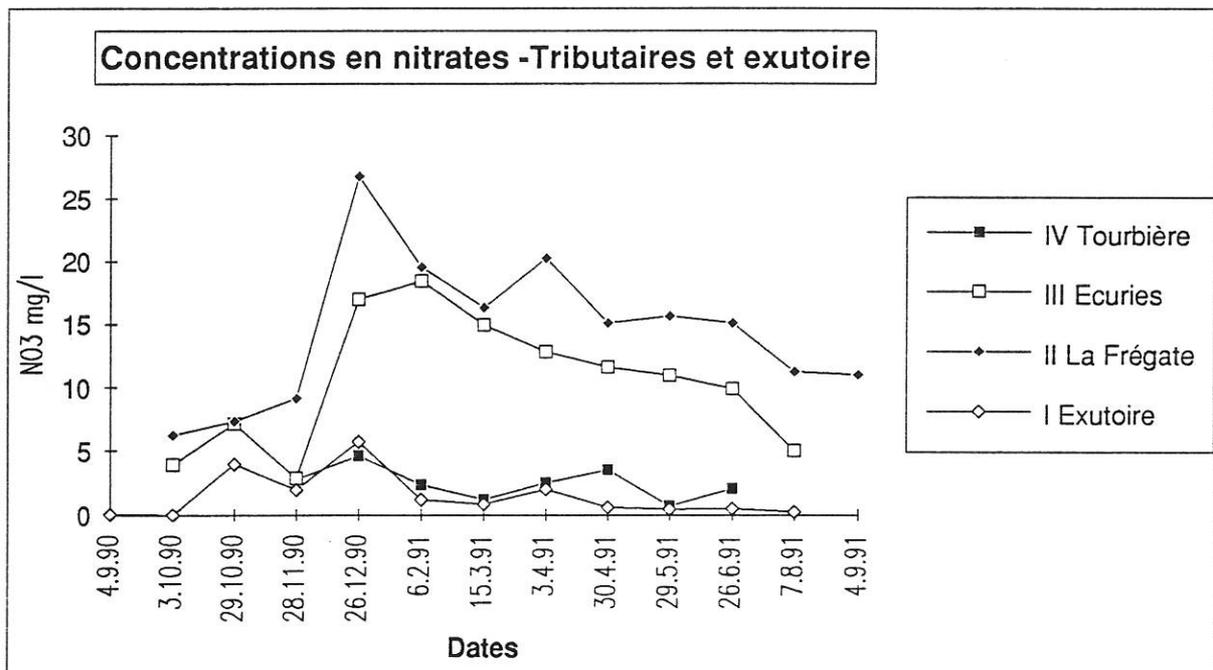


Figure n° 2

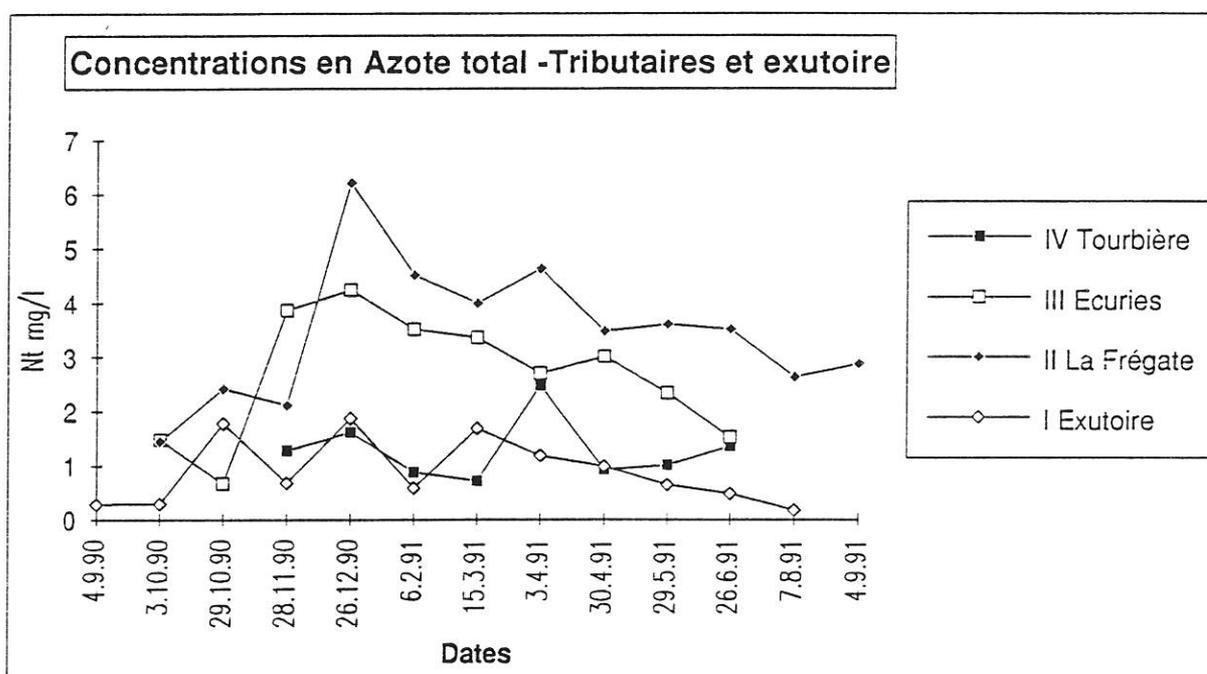
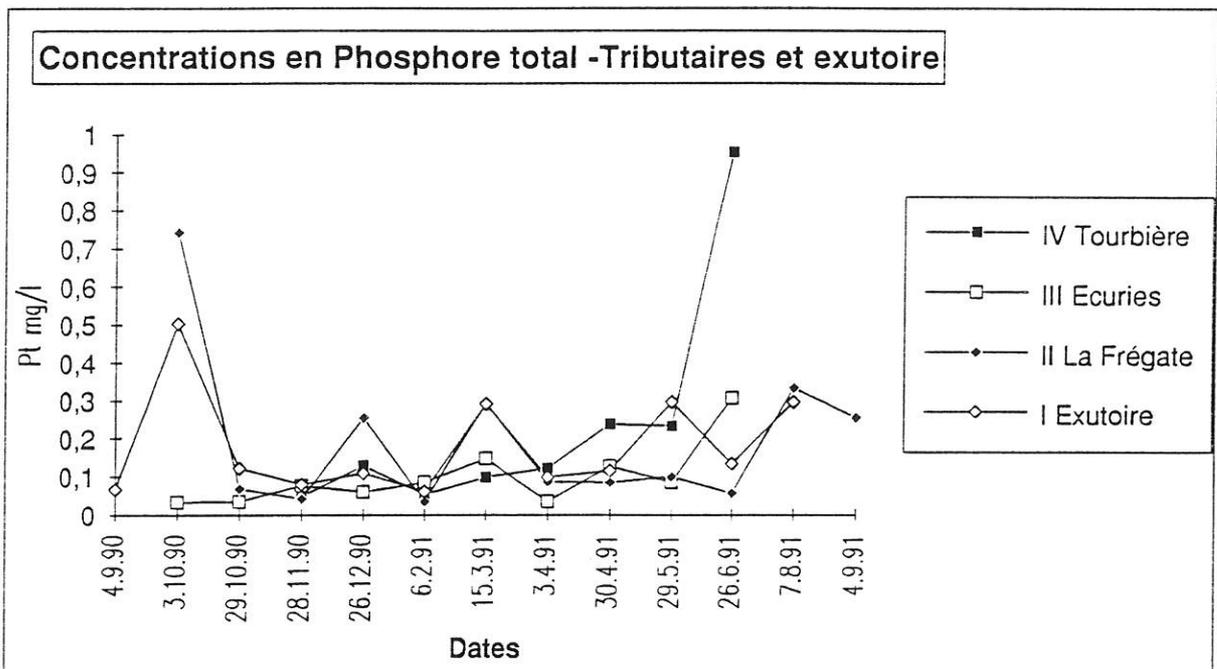


Figure n° 3



2./ CORRELATIONS CONCENTRATIONS/DEBITS

Selon les tributaires, nous disposons de 8 à 12 couples de valeurs (concentration, débit). Sur des effectifs aussi faibles, il est difficile de mettre en évidence des corrélations très nettes. Cette approche statistique est toutefois utile pour voir apparaître les tendances et évaluer des valeurs reconstituées.

Le tableau suivant donne pour les différents tributaires et les paramètres azote total et phosphore total les caractéristiques des droites de régression sur les débits (voir aussi figures n° 4, 5 et 6).

Droites de régression concentrations/débits(Q)				
Tributaire	Nutriment	Equation de la droite	coefficient de corrélation	signification au seuil 1%
Tourbière (IV)	Azote total	$N=249,6Q + 0,47$	$r=0,39$	non
	Phosphore total	$P=-203,4Q + 0,90$	$r=0,60$	non
Ecurie (III)	Azote total	$N=727,8Q + 1,5$	$r=0,53$	non
	Phosphore total	$P=-3,94Q + 0,11$	$r=0,04$	non
La Frégate (II)	Azote total	$N= 875Q + 1,7$	$r=0,77$	oui
	Phosphore total	$P=-48,9Q + 0,29$	$r=0,27$	non
Exutoire (I)	Azote total	$N= 10,37Q + 0,51$	$r=0,42$	non
	Phosphore total	$P=-1,85Q + 0,25$	$r=0,34$	non

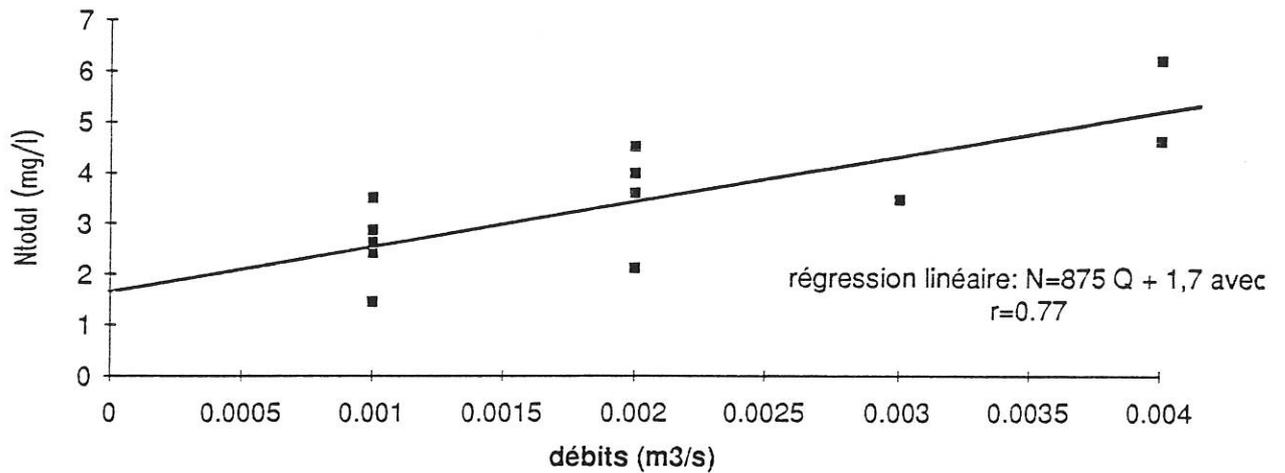
Bien qu'une seule de ces régressions soit significative au seuil de 1 %, on voit que les coefficients de régression n'ont le plus souvent pas des valeurs trop faibles et que les équations traduisent toutes des comportements analogues :

- lien positif entre concentrations en azote total et débits (lessivage par les pluies),
- lien négatif entre concentrations en phosphore total et débits (dilution).

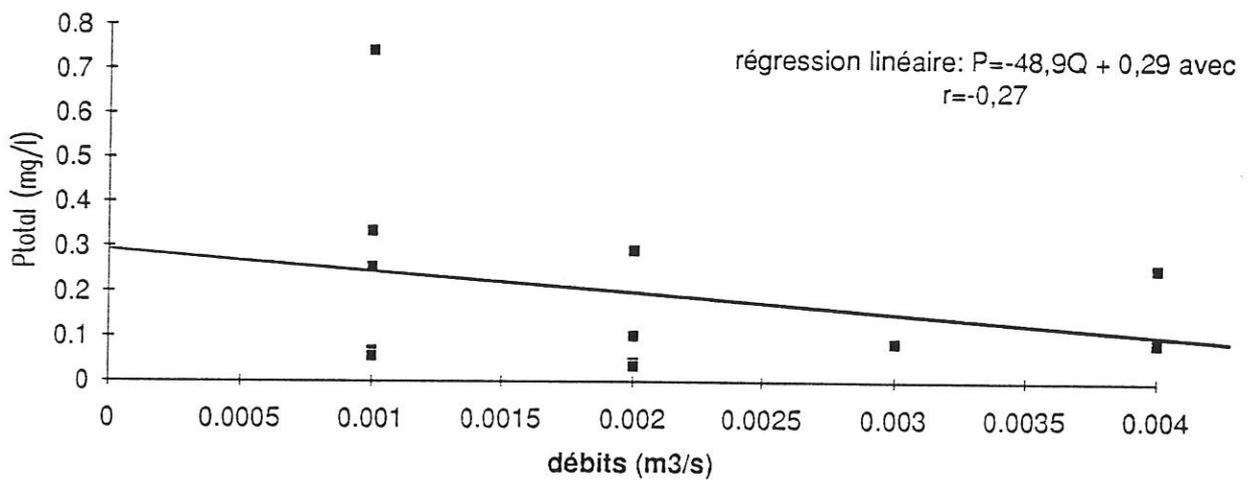
3./ FLUX DE NUTRIMENTS RECONSTITUES

Du fait que nous disposons pour les trois affluents au lac de données de débit sensiblement plus fournies que les données de concentration, nous utiliserons les régressions précédentes pour reconstituer des valeurs théoriques de concentrations entre les valeurs connues : ceci permettra en particulier de prendre en compte les épisodes de crue, fondamentaux pour l'évaluation des flux, qui du fait de leur faible durée n'ont pas donné lieu à des prélèvements et analyses.

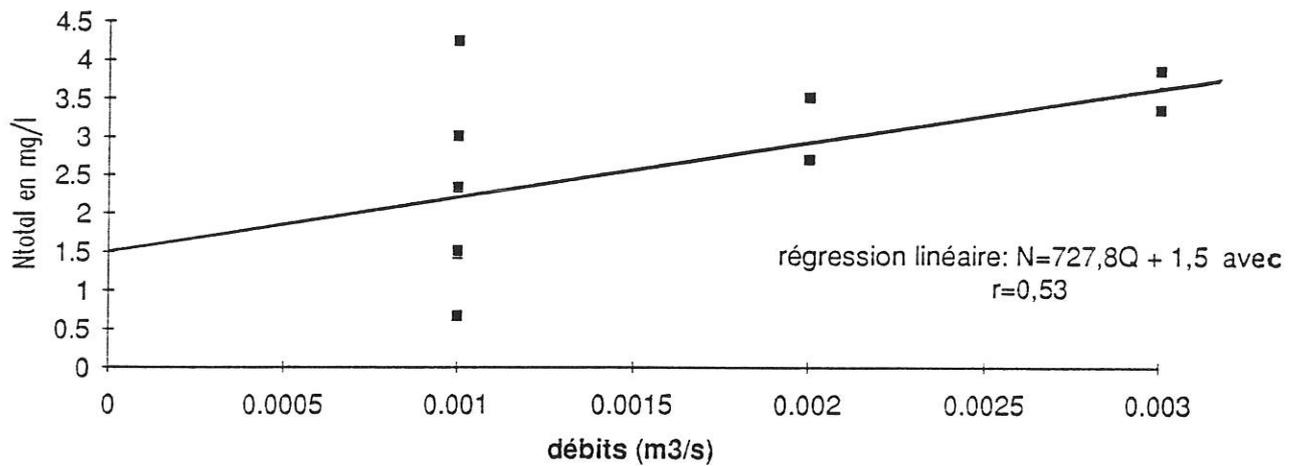
Corrélation entre concentrations en Ntotal et débits sur le
tributaire La Frégate (II)



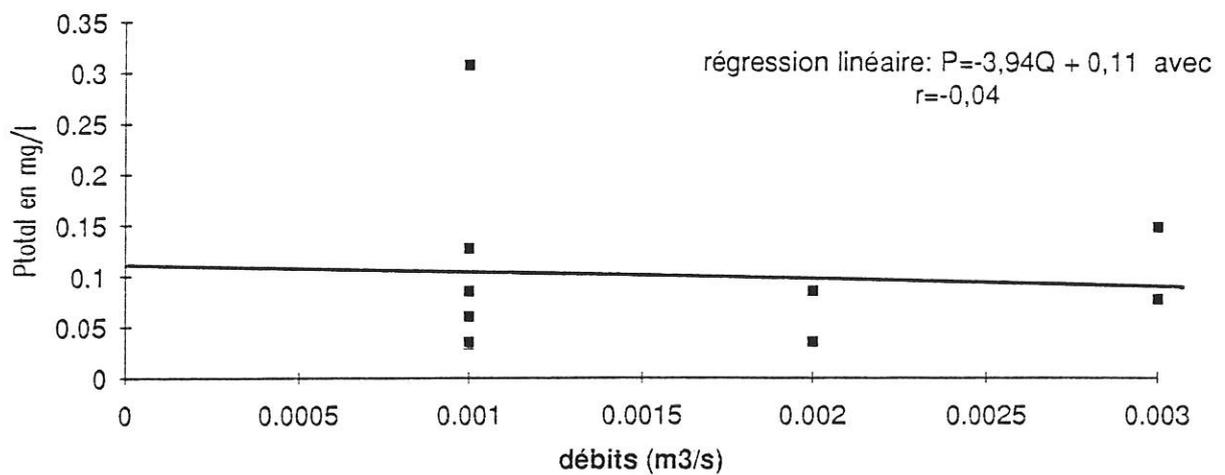
Corrélation entre concentrations en Ptotal et débits sur le
tributaire La Frégate (II)



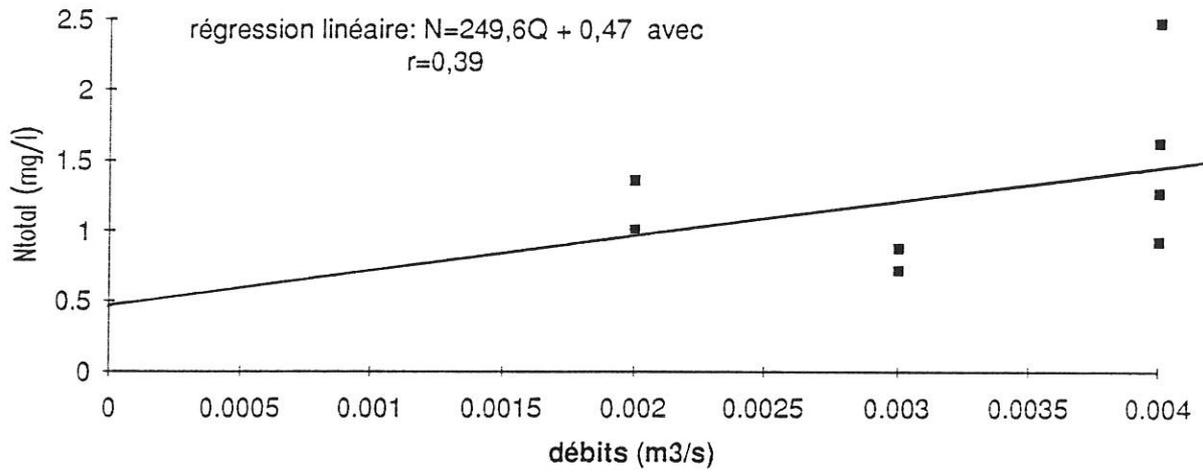
Corrélation entre concentrations en Ntotal et débits sur le
tributaire Ecurie (III)



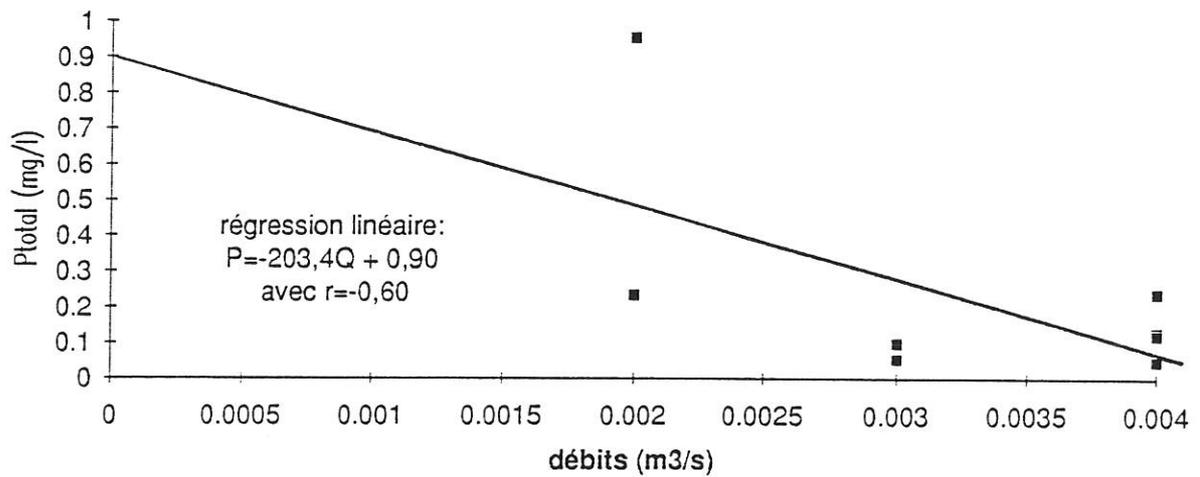
Corrélation entre concentrations en Ptotal et débits sur le
tributaire Ecurie (III)



**Corrélation entre concentrations en Ntotal et débits sur le
tributaire Tourbière (IV)**



**Corrélation entre concentrations en Ptotal et débits sur le
tributaire Tourbière (IV)**



Les flux en azote total et phosphore total des trois tributaires amont ont été présentés sur une année complète sur la figure n° 7. Ils sont exprimés en flux journaliers.

Le tableau suivant fournit les valeurs moyennes annuelles de flux journaliers et leur traduction en terme de tonnage annuel.

	Tributaire La Frégate (II)	Tributaire Ecurie (III)	Tributaire Tourbière (IV)	Total des trois tributaires amont
Flux moyen journalier en N_t (kg/j)	2,06	8,28	1,48	11,82
Flux moyen journalier en P_t (kg/j)	0,026	0,019	0,033	0,078
Tonnage annuel en N_t	/	/	/	4,31 t/an
Tonnage annuel en P_t	/	/	/	28,5 kg/an

4./ APPORTS ANNUELS AU LAC - CHARGES INTERNES AZOTE, PHOSPHORE

Le bilan hydrologique du bassin versant du lac dressé par la DDAF évoqué au premier chapitre permet d'évaluer la part apportée par les trois tributaires étudiés dans le volume total d'eau arrivant au lac.

En effet le cumul des débits moyens annuels de ces trois tributaires s'élève à :

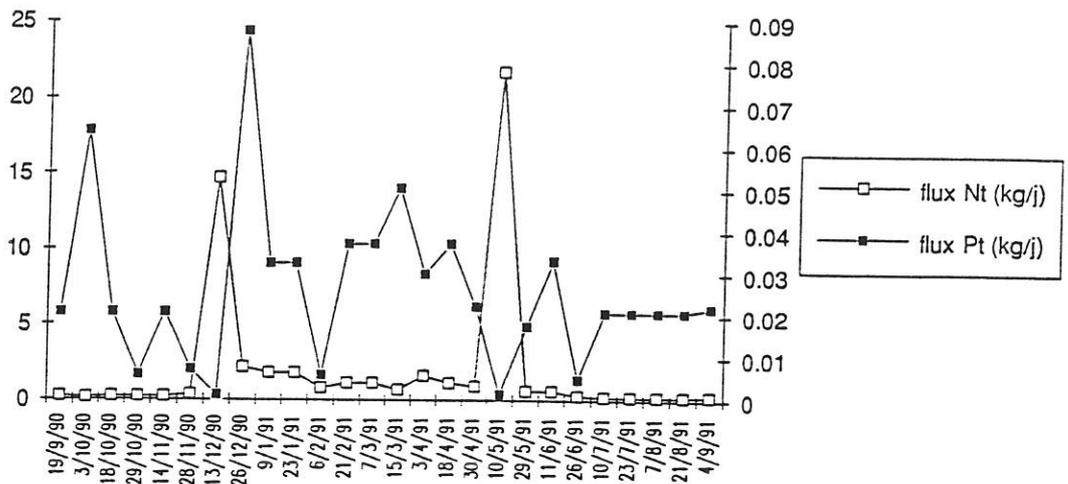
$$q = 0,003 + 0,004 + 0,004 = 0,011 \text{ m}^3/\text{s}$$

Les apports de pluie directe sur le lac (déduction faite de l'évaporation et des prélèvements pour irrigation du golf) représentent $0,012 \text{ m}^3/\text{s}$.

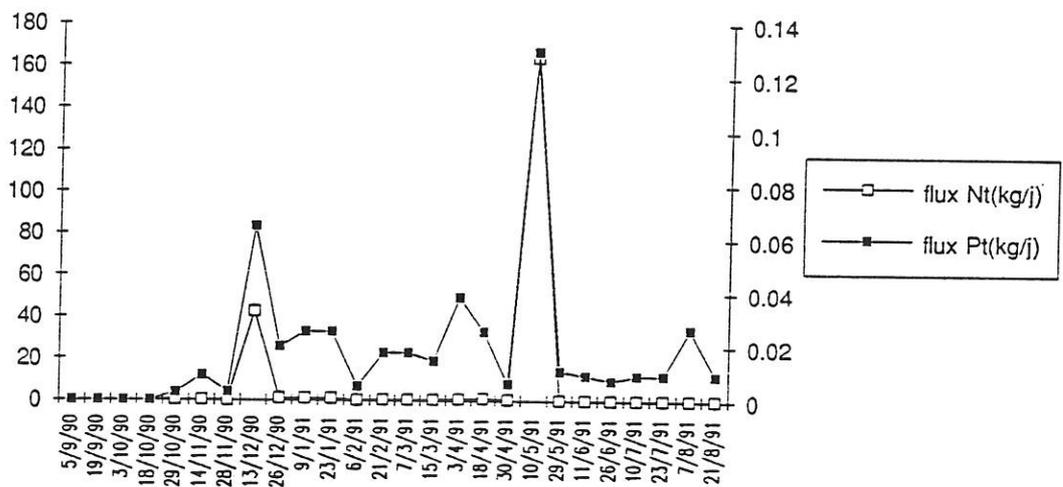
Le bilan hydrologique simplifié exprimé en terme de débit (moyenne annuelle) peut être présenté de la manière suivante :

A_T = Apport des trois tributaires -->	$0,011 \text{ m}^3/\text{s}$	(23 %)
A_P = Apport net des pluies ---> (-évaporation -irrigation)	$0,012 \text{ m}^3/\text{s}$	(24 %)
E = Ecoulement à l'exutoire --->	$0,049 \text{ m}^3/\text{s}$	(100 %)
A_d = Apports "diffus"	$0,026 \text{ m}^3/\text{s}$	(53 %)

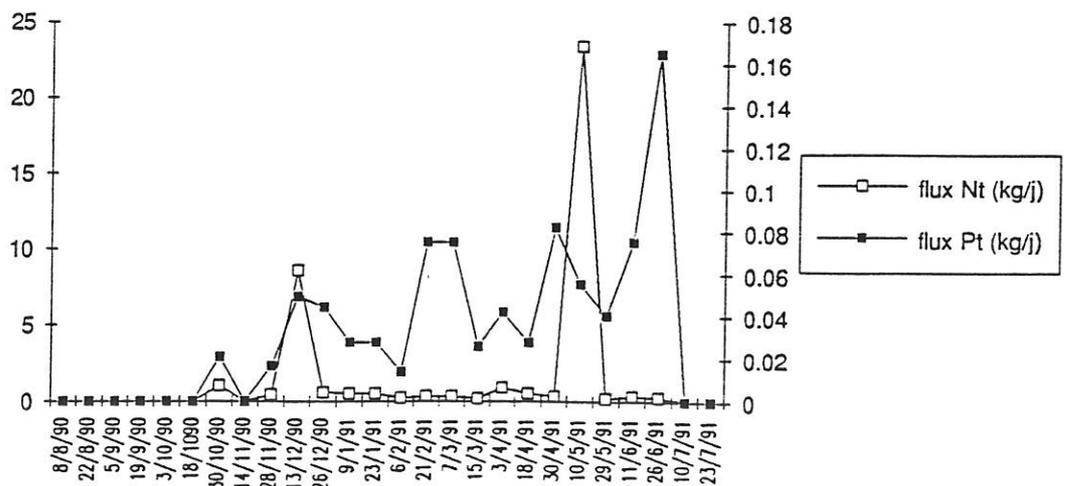
Flux de Ntotal et de Ptotal du tributaire La Frégate (II)



Flux de Ntotal et Ptotal du tributaire Ecurie (III)



Flux de Ntotal et Ptotal du tributaire Tourbière (IV)



Les **apports diffus** sont constitués par des écoulements superficiels temporaires non répertoriés, par des écoulements hypodermiques, par le ruissellement, les apports du golf et par les apports de nappe. On constate qu'ils représentent **plus de la moitié de l'apport total**.

Nous ferons l'hypothèse que les apports "diffus" ont les mêmes concentrations moyennes en azote total et phosphore total que les trois tributaires amont suivis.

Les flux en N_t et P_t entre A_d et A_T sont donc dans le même rapport que les débits moyens annuels, soit 2,6.

Les apports diffus sont donc les suivants :

Tonnage annuel en $N_{total} = 4,31 \times 2,6 \text{ t de N/an} = 11,20 \text{ t/an}$

Tonnage annuel en $P_{total} = 28,5 \times 2,6 \text{ kg de P/an} = 74,1 \text{ kg/an}$

Pour ce qui concerne les apports des précipitations directes il n'a pas été possible de recueillir de référence locale sur la concentration en N_{total} et P_{total} des pluies. Nous avons donc exploité des références au plan national, voire international (voir annexe 2) :

- 0,5 mg/l de P_{total}
- 0,08 mg/l de N_{total}

L'apport des pluies nettes s'écrit donc :

Tonnage annuel en $N_{total} = 0,012 \times 0,5 \text{ g/s de } N_t = 190 \text{ kg/an}$

soit,

Tonnage annuel en $P_{total} = 0,012 \times 0,08 \text{ g/s de } P_t = 30,3 \text{ kg/an}$

L'**apport total au lac** est évalué par la somme $A_T + A_d + A_P$, soit :

Tonnage en $N_t = 4,31 + 11,20 + 0,19 = 15,7 \text{ t/an de } N_t$

Tonnage en $P_t = 28,5 + 74,1 + 30,3 = 133 \text{ kg/an de P-t}$

La capacité d'un plan d'eau à supporter une charge nutritive dépend de sa surface et de sa profondeur (de son volume). Aussi utilise-t-on fréquemment la notion de "charge spécifique" qui correspond au flux de nutriment ramené à la surface du plan d'eau :

$$\text{Charge spécifique en } N_{total} = \frac{15,7 \text{ t/an}}{45 \text{ ha}} = 34,9 \text{ g/m}^2/\text{an}$$

$$\text{Charge spécifique en } P_{\text{total}} = \frac{133 \text{ kg/an}}{45 \text{ ha}} = 0,30 \text{ g/m}^2/\text{an}$$

La charge spécifique des lacs a fait l'objet d'études statistiques qui ont permis à l'OCDE d'établir en 1971 des valeurs de référence de charges "tolérables" et de charges "dangereuses". La comparaison des résultats obtenus sur le lac de Lourdes à ces références OCDE et à des charges estimées par le CEMAGREF pour un certain nombre de lacs aquitains (dans la même gamme de profondeur) permet de constater que les charges supportées par le lac de Lourdes sont supérieures aux limites considérées comme dangereuses mais inférieures aux charges supportées par bon nombre des lacs aquitains.

La charge en azote apparaît plus dangereuse que la charge en phosphore.

CHARGE SPECIFIQUE DE QUELQUES LACS ET REFERENCES OCDE

	PROFONDEUR MOYENNE (m)	AZOTE TOTAL	PHOSPHORE TOTAL
Référence OCDE tolérable	10	1,5	0,1
Référence OCDE dangereuse	10	2	0,2
Lac de Parentis	6,7	1,5	3,1
Lac de Léon	0,7	82,5	7,4
Lac d'Aureilhan	1,9	122	18,8
Lac de Lourdes	7,1	34,9	0,3

(valeurs exprimées en $\text{g/m}^2/\text{an}$)

En conclusion, les charges en azote et en phosphore total supportées par le lac de Lourdes ne sont pas trop défavorables. Toutefois, le fait qu'elles dépassent, en particulier pour l'azote, les normes OCDE, incline à rester vigilant sur la maîtrise des pollutions, qu'elles soient d'origine agricole (épandages d'engrais et élevage) ou ponctuelle (golf, rejets d'eaux usées).

III.- LE LAC -

1./ LES EAUX

1.1.- Physico-chimie

1.1.1.- Paramètres physiques

Le tableau n° 2 montre les valeurs des paramètres de terrain relevées au niveau des deux stations.

Transparence :

Les mesures au disque de Secchi donnent une transparence moyenne de l'eau de 3,5 m en période estivale ; cette transparence augmente à 5,2 m au mois d'août, alors qu'en hiver elle n'est que de 2,40 m.

Température :

On peut mettre en évidence une stratification thermique en période estivale.

La température des eaux de surface varie de 18°C à 25°C alors que celle des eaux de fond en dessous de 7 mètres varie de 11°C à 16°C.

En hiver nous avons donc un mélange intégral des eaux.

Conductivité (figure n° 8) :

Les conditions hivernales ne montrent aucune différence dans les mesures. En été, la conductivité des eaux de fond est supérieure. Ces eaux (hivernales) devraient être moins conductrices ; l'augmentation de la conductivité traduit donc un relargage des sédiments. Ceci est corrélé avec les teneurs élevées en nitrate, ammoniac et azote Kjeldahl dans les eaux de fond.

Oxygène dissous (figure n° 9) :

Les teneurs en oxygène dissous suivent la même évolution que celle des températures avec en dessous de la zone des -7 mètres des valeurs allant de 1 à 3 mg par litre et au dessus de cette zone des valeurs remontant très rapidement.

Les observations faites sur l'évolution de la conductivité, du taux d'oxygène dissous dans la colonne d'eau et sur la stratification thermique estivale nous conduisent à rester vigilants sur un relargage de nutriments à partir des sédiments. Comme nous le verrons ci-après, ces sédiments sont organiques et consommateurs d'oxygène.

1.1.2.- Paramètres chimiques (tableau n° 3)

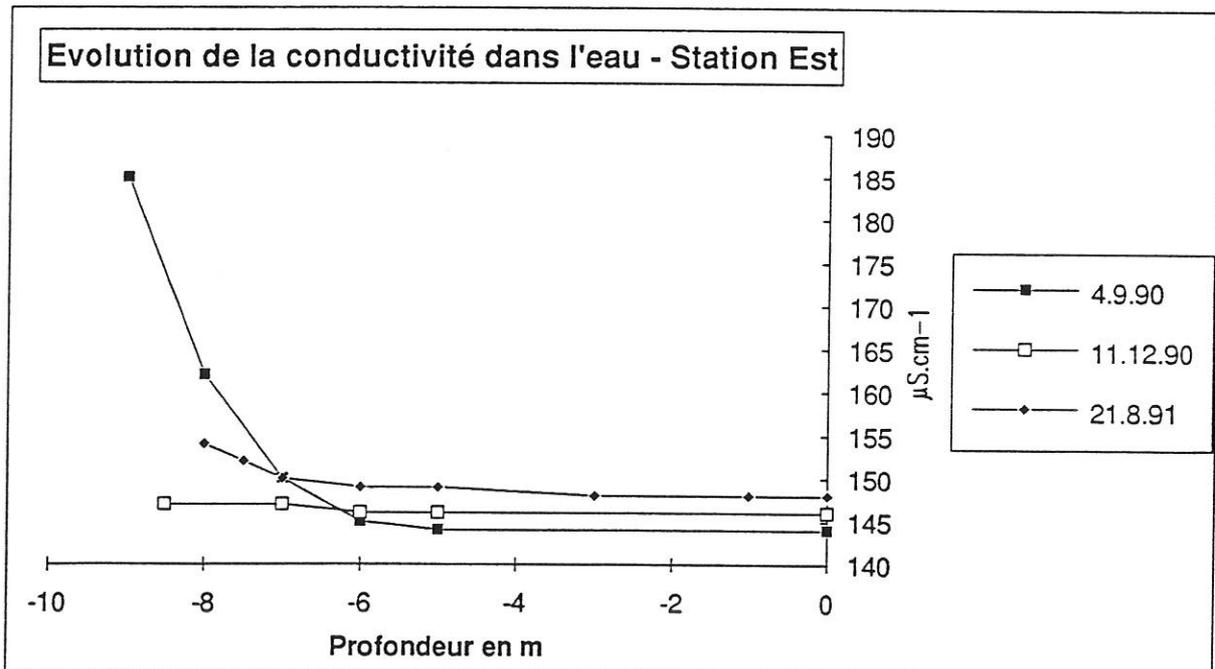
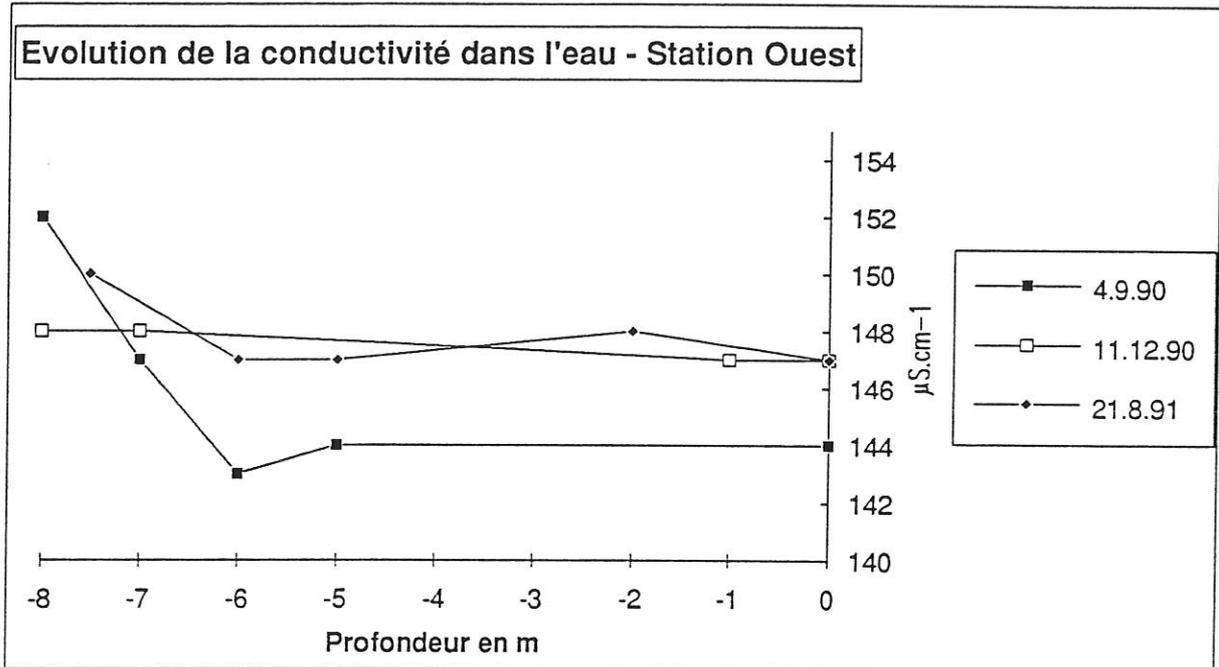
Oxydabilité :

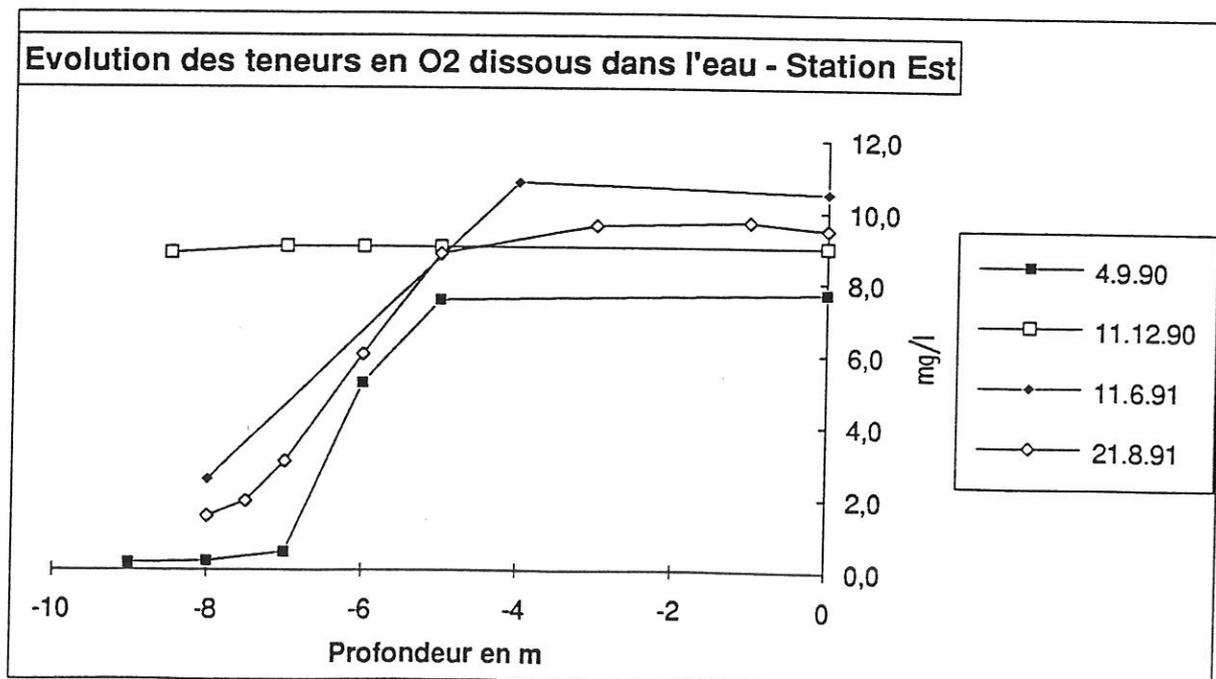
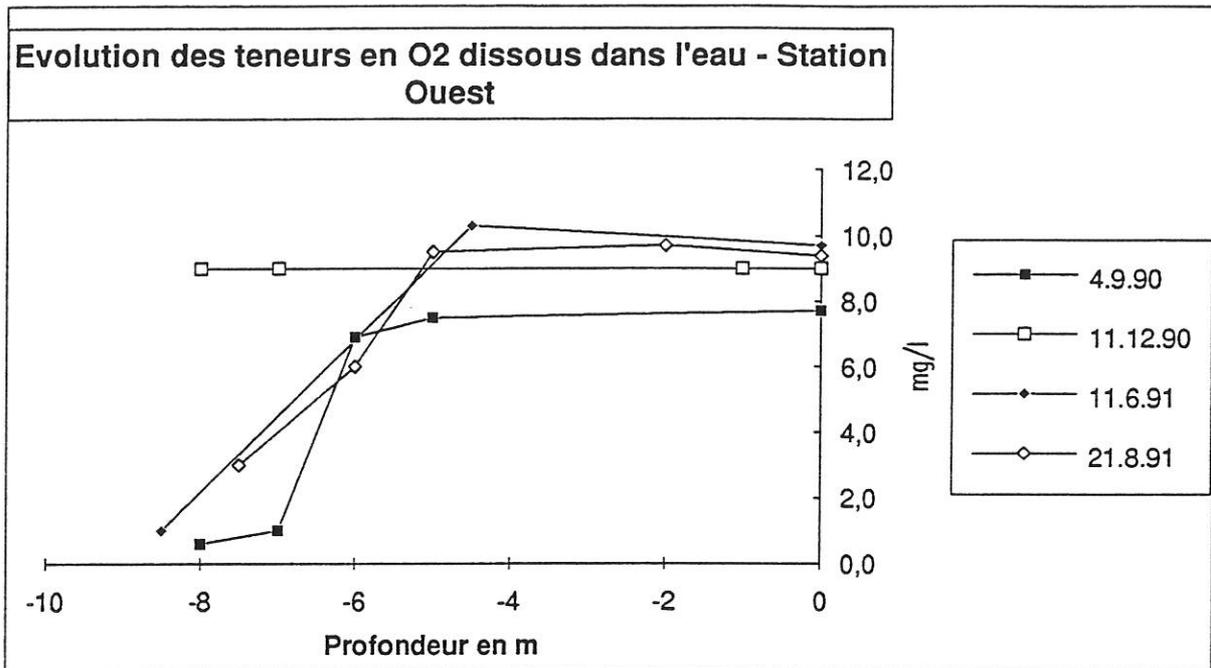
Nous retrouvons plus de matières organiques facilement dégradables dans les eaux de fond en été. Toutefois le taux de matières organiques reste raisonnable (oxydabilité en général inférieure à 4).

Tableau n° 2

Relevés des quatre campagnes de mesure sur le lac de LOURDES

Station	Date	Niveau	Secchi	O2 dissous	% sat.	temp.	pH	Cond.
Station Ouest	4/9/90	-8		0,6	6	16,5	6,7	152
		-7		1,0		18,6	6,7	147
		-6		6,9		21,7	7,3	143
		-5		7,5		22,1	7,8	144
		0	3,5	7,7	89	22,6	8,0	144
Station Est	4/9/90	-9		0,2	2	14,5	7,0	185
		-8		0,3		15,2	6,9	162
		-7		0,5		17,0	6,9	150
		-6		5,2		20,4	7,0	145
		-5		7,5		22,1	7,6	144
		0	3,5	7,7	90	23,1	8,0	144
Station Ouest	11/12/90	-8		9,0	74	6,9	6,7	148
		-7		9,0		7,0	6,7	148
		-1		9,0		6,8	7,3	147
		0	2,4	9,0	74	6,7	7,3	147
Station Est	11/12/90	-8,5		8,8	73	6,8	8,1	147
		-7		9,0		6,8	8,2	147
		-6		9,0		6,8	8,3	146
		-5		9,0	73	6,9	8,3	146
		0	2,4	9,0	73	6,9	8,7	146
Station Ouest	11/6/91	-8,5		1,0	9	11,6	7,4	
		-4,5		10,3	105	16,1	8,9	
		0	3,4	9,7	103	18,5	9,0	
Station Est	11/6/91	-8		2,5	23	11,5	7,4	
		-4		10,8	111	16,5	9,1	
		0	3,4	10,5	113	19,0	9,1	
Station Ouest	21/8/91	-7,5		3,0	28	13,6	6,7	150
		-6		6,0	62	17,6	7,5	147
		-5		9,5	106	20,5	8,1	147
		-2		9,7	113	23,0	8,5	148
		0	5,2	9,4	114	25,1	8,5	147
Station Est	21/8/91	-8		1,5	14	12,6	6,7	154
		-7,5		1,9	19	13,5	6,7	152
		-7		3,0	30	14,8	6,8	150
		-6		6,0	61	17,6	7,0	149
		-5		8,8	97	20,4	8,0	149
		-3		9,6	112	23,0	8,6	148
		-1		9,7	114	23,3	8,6	148
0	5,2	9,5	114	24,6	8,5	148		





Analyses des eaux du lac de LOURDES (4 campagnes, 2 stations, 3 profondeurs)

Station	Date	Prof. en m	Niveau	en m	NO ₂	MES	% MINE	ORTHO	PO ₄	Pt	NO ₃	NO ₂	NH ₄	NtK (en N)	Nt	
Station Ouest	4/9/90	9	Surface	2,4	<5					nd	0,06	0,040	0,000	0,009	0,1	0,11
			-4	1,8	<5				nd	0,1	0,050	0,000	0,007	0,1	0,11	
			-8	2,6	<5	14	0,046	0,14	0,110	0,000	0,050	0,1	0,12			
Station Est	4/9/90	9,6	Surface	1,4	<5					nd	0,06	0,130	0,000	0,002	0,1	0,13
			-4	1,6	<5				nd	0,1	0,080	0,000	<0,002	0,1	0,12	
			-9	2,6	<5	25	0,06	0,14	0,170	0,000	0,410	0,45	0,49			
Station Ouest	11/12/90	9	Surface		<5	33	0,012	0,13	0,320	0,010	0,110	0,43	0,51			
			-4		<5	33	0,009	0,12	0,280	0,010	0,100	0,38	0,45			
			-8		<5	35	0,008	0,09	0,210	0,010	0,110	0,42	0,47			
Station Est	11/12/90	9,7	Surface		<5	29	0,009	0,09	0,400	0,010	0,130	0,47	0,56			
			-5		<5	33	0,009	0,09	0,310	0,010	0,110	0,56	0,63			
			-8,5		<5	25	0,01	0,11	0,400	0,010	0,110	0,46	0,55			
Station Ouest	11/6/91	9,5	Surface	1,8	<5	9	<0,008	0,13	0,200	0,020	nd	0,33	0,38			
			-4,5	1,2	<5	22	0,011	0,13	0,600	0,020	<0,02	0,45	0,59			
			-8,5	2,4	<5	30	0,02	0,19	0,950	0,050	0,410	0,72	0,95			
Station Est	11/6/91	9,2	Surface	1,4	<5	14	<0,008	0,11	0,400	0,030	nd	0,39	0,49			
			-4	2,2	<5	11	<0,008	0,13	0,700	0,050	<0,02	0,51	0,68			
			-8		<5	21		0,1	18,0	0,090	0,390	1,55	5,64			
Station Ouest	21/8/91	9	Surface	8			0,014	0,17	0,600	0,010	<0,02	0,32	0,46			
			-4	4,8	<5	12	<0,008	0,2	0,240	0,010	<0,02	0,21	0,27			
			-7,5	4	<5	14	0,009	0,29	0,340	0,010	<0,02	0,54	0,62			
Station Est	21/8/91	10	Surface	3,8	<5	8	<0,008	0,34	0,310	0,010	<0,02	1,35	1,42			
			-4	3,2	<5	22	<0,008	0,13	0,250	0,010	<0,02	0,8	0,86			
			-8	3,6	<5	11	0,011	0,25	0,300	0,010	<0,02	1,45	1,52			

Orthophosphates :

On peut mettre en évidence un petit relargage en septembre et de manière moindre en juin. Ceci correspond bien à l'évolution de la conductivité et de l'oxygène dissous. On notera cependant une différence au niveau de ce relargage entre les deux années avec des valeurs plus élevées en septembre 1990 qu'en août 1991.

Nitrates :

Les teneurs sont très faibles si un léger relargage s'observe en septembre il est nul en hiver avec le brassage des eaux.

On constate des teneurs parfois plus importantes dans les eaux de fond de la station Est (18 mg/l en juin 1991) alors que les autres paramètres physico-chimiques sont voisins aux deux stations. On peut donc envisager, du fait de la stratification thermique, un apport d'eau plus froide (source souterraine) chargée en nitrates conduisant à un **bloquage des nitrates au fond**.

Nitrites et ammoniac :

En période estivale les teneurs mesurées sont plus importantes dans les eaux de fond et à la station Est. Ceci rejoint la remarque précédente il s'agirait bien d'un apport d'eau pollué chargé en azote.

La figure n° 10 donne les concentrations en azote total dans la colonne d'eau pour les quatre campagnes de mesure et la figure n° 11 celles en phosphore total.

Les différents paramètres mesurés montrent des valeurs générales assez faibles avec toutefois quelques pointes qui confirment le relargage par les sédiments en période d'été et d'automne.

Pour ce qui concerne les polluants toxiques, les hydrocarbures n'ont pas été détectés dans l'eau au seuil de 0,25 ng/l sur les deux stations. L'atrazine (pesticide) a été mise en évidence à l'état de traces (82 ng/l à la station 1, 98 ng/l à la station 2), tandis que la simazine n'a pas été détectée au seuil de 25 ng/l non plus que les produits de la famille des phénylurées (diuron, métoxuron, isoproturon).

1.2.- Microbiologie (tableau n° 4)

Les quatre séries de prélèvements montrent une eau de qualité bactériologique correcte, avec des teneurs en coliformes inférieures à 500 germes/100 ml d'eau, en coliformes fécaux inférieures à 50 germes et en streptocoques fécaux inférieures à 300 germes.

On notera cependant que le ratio coliformes thermotolérants/streptocoques au point 4 (exutoire) n'est pas celui habituellement rencontré, avec des teneurs en streptocoques parfois très supérieures à celles en coliformes thermotolérants, ce qui serait indicatif soit d'une contamination fécale d'origine animale soit d'une contamination par arrivée d'effluent ancien de type fosse septique.

FIGURE N° 10

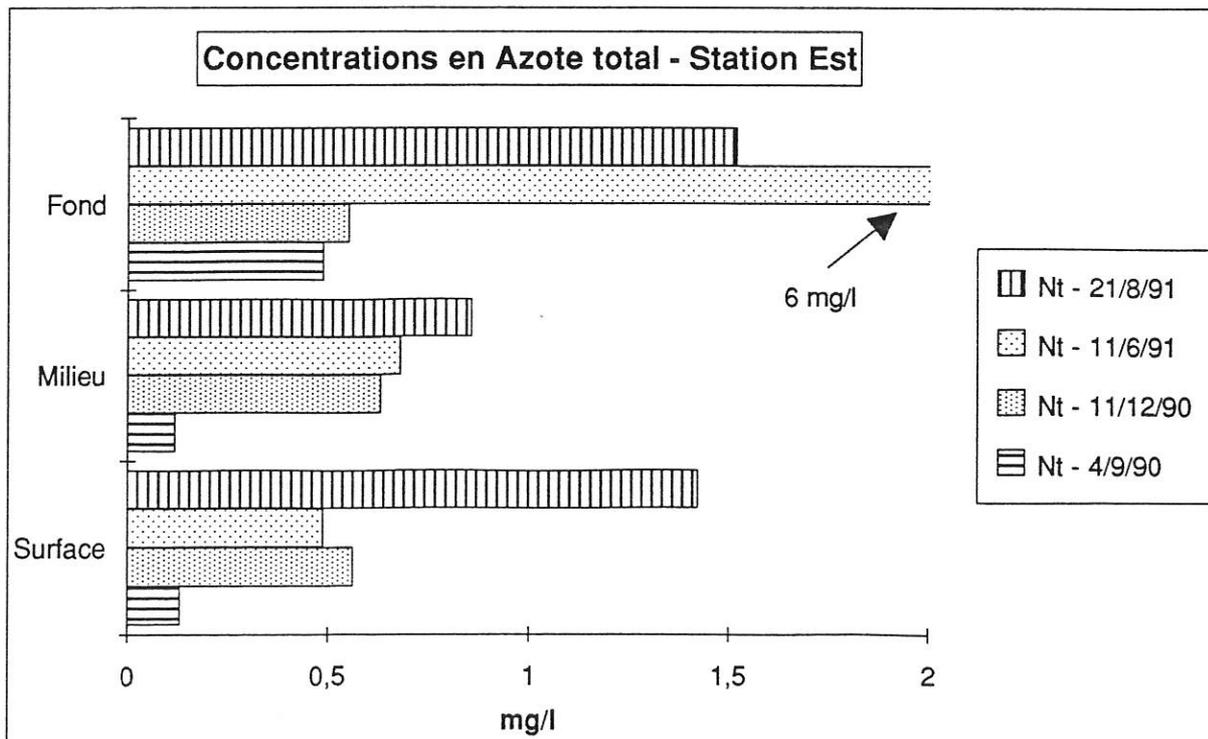
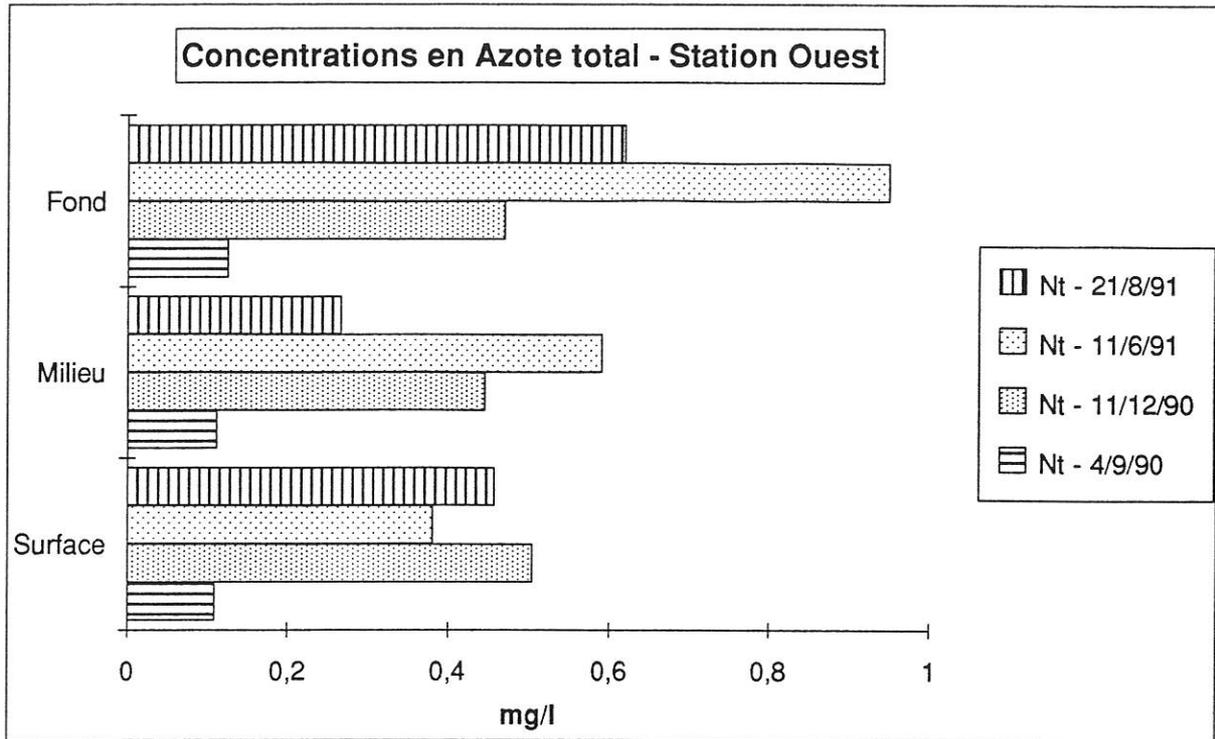


FIGURE N° 11

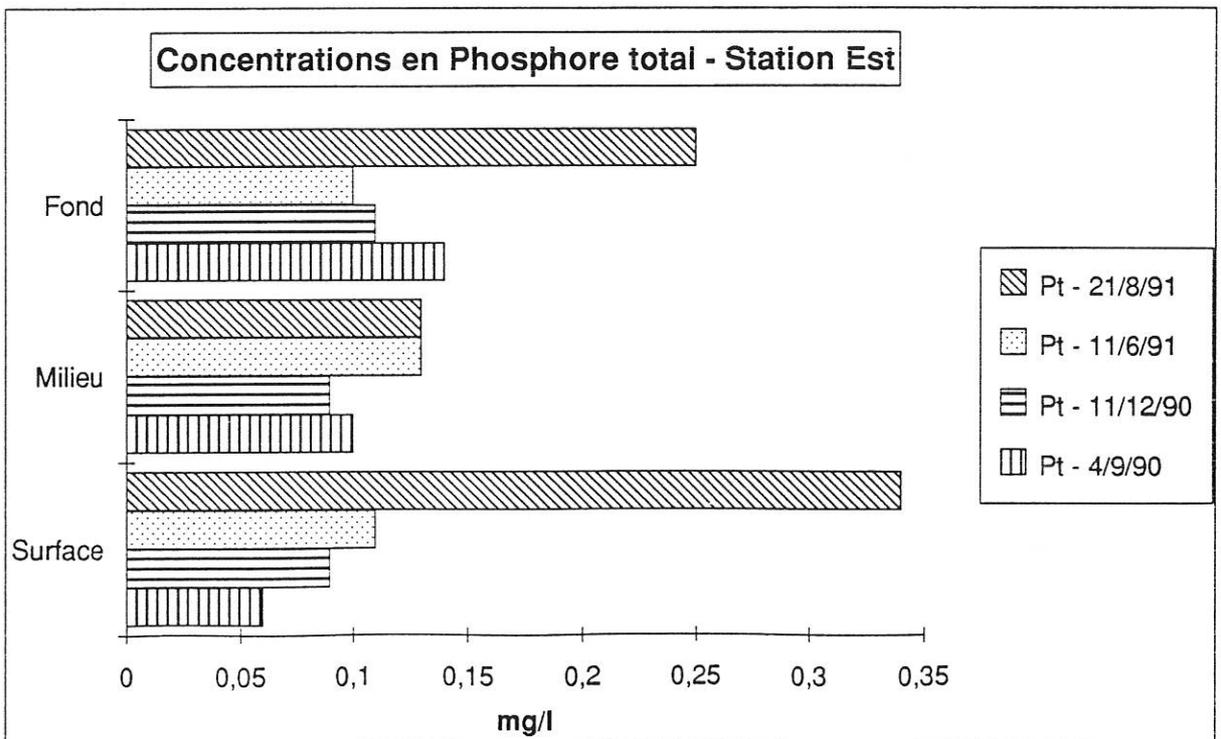
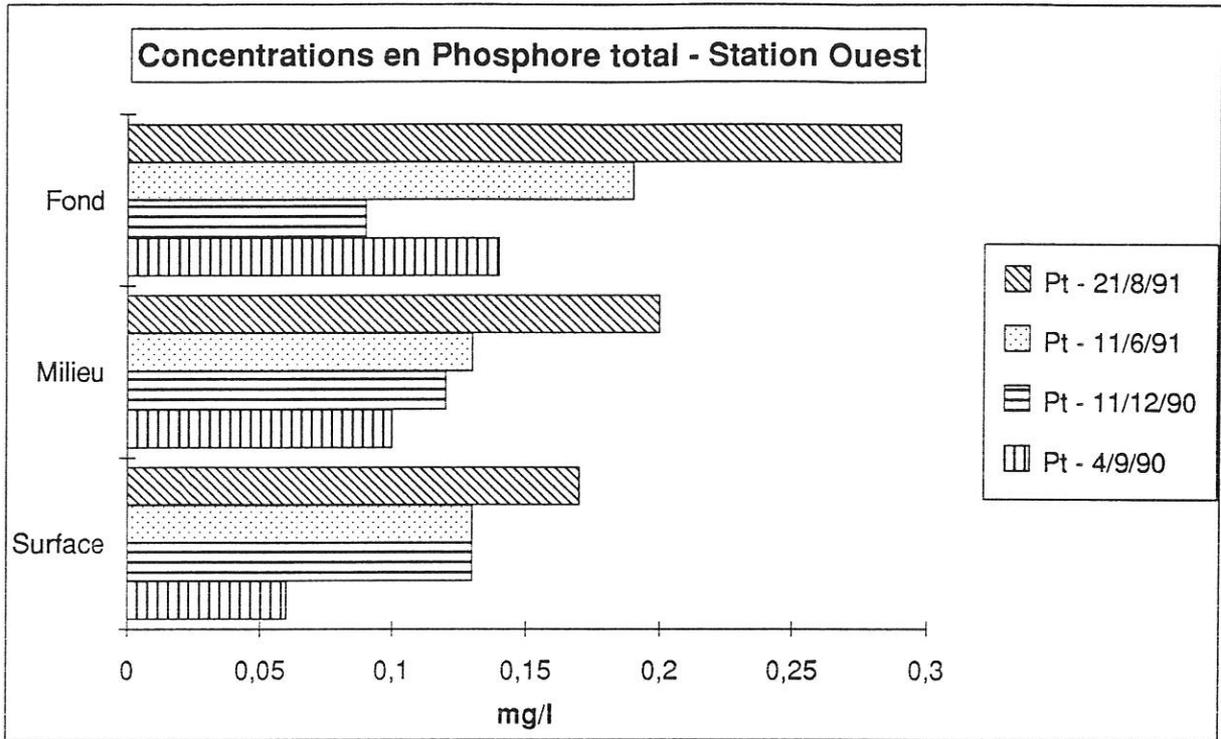


Tableau n° 4

Analyses bactériologiques du lac de LOURDES
(4 campagnes, 4 à 5 stations)

Dates	Stations	GT 20	GT 37	Col. totaux	Col. fécaux	Str. fécaux
5/9/90	A	62	84	23	0	5
	B	51	45	33	0	13
	C	48	46	32	0	9
	D	70	81	280	30	320
12/12/90	A	1000	100	430	50	30
	B	50	10	150	6	8
	C	20	10	250	7	12
	D	40	150	400	7	23
11/6/91	A	24	9	60	-	-
	B	52	7	10	-	-
	C	15	9	0	-	-
	C'	4	3	20	-	35
	D	90	59	90	-	-
21/8/91	A	<10	<10	8	1	3
	B	<10	<10	9	0	1
	C	<10	<10	7	1	2
	C'	<10	<10	8	1	0
	D	<10	<10	38	15	51

Station A abord tourbière
 Station B rétrécissement Nord
 Station C centrale Est Voir Carte page 6
 Station C' centrale Ouest
 Station D exutoire

Les numérations de microflore totale (GT 20 et GT 37) sont données par ml.
 Les autres numérations (coliformes et stéptocoques) sont données par 100 ml.

La norme applicable aux eaux de baignade invoquant une teneur en germes maximale impérative de 2000 coliformes thermotolérants par 100 ml, la baignade et les activités récréatives associées sont envisageables actuellement. La saison estivale a une influence sur cette qualité à la station 4 (zone touristique aménagée).

Les pluies hivernales apportent une contamination bactérienne provenant du bassin versant : ruissellement, pollutions diffuses d'origine humaine (eaux usées) ou animale (mesures de Décembre 1990).

On veillera donc à éviter tout rejet d'eaux usées traitées dans le plan d'eau lors de l'aménagement futur de la zone d'accueil touristique pour conserver une qualité bactériologique correcte.

1.3.- Algologie

1.3.1.- Biomasse phytoplanctonique

La biomasse phytoplanctonique est un des paramètres qui permettent d'établir le niveau trophique d'un écosystème aquatique.

Plus cette biomasse est grande, plus le niveau trophique du système est élevé.

Comme il existe une excellente relation entre la biomasse phytoplanctonique et la teneur en chlorophylle a des eaux des écosystèmes aquatiques d'eau douce, c'est ce dernier paramètre que nous avons retenu pour l'apprécier.

Selon les critères généralement admis dans la littérature (OCDE 1982), cette valeur est caractéristique d'écosystème aquatiques mésotrophes, à la production algale moyenne. (voir page 43).

1.3.2.- Population algale

L'échantillonnage des algues phytoplanctoniques a été réalisé lors de 3 campagnes respectivement en septembre 90, Juin et Août 1991.

Les numérations cellulaires ont été effectuées sur cellule de Nageotte (contenance 50 mm³) et les diatomées ont été comptées séparément après nettoyage (H₂O₂) et montage dans un milieu réfringent (Naphrax). (voir tableaux de comptage en annexe 4).

Principales observations.

* Aspects quantitatifs :

Le phytoplancton est relativement pauvre tant en abondance qu'en diversité avec des concentrations inférieures à 2500 cellules par ml ce qui semble corroborer les faibles teneurs en chlorophylle mesurées simultanément qui ne dépassent pas 3 µg/l. Ces premières observations tendent à classer le plan d'eau de Lourdes dans la catégorie des étangs peu productifs à caractère nettement oligotrophe. L'examen détaillé des espèces permet toutefois de nuancer ce premier diagnostic.

		LAC DE LOURDES : CHLOROPHYLLE A (mg/m3)							
		5/9/1990		11/12/90		11/6/91		21/8/1991	
		Ca.active	Ca.dégradée	Ca.active	Ca.dégradée	Ca.active	Ca.dégradée	Ca.active	Ca.dégradée
Station 1		3,0	0,7	5,1	2,6	2,7	1,5	0,9	0,3
Station 2		2,0	0,9	4,0	3,6	2,6	2,5	2,3	0

PLAN D'EAU DE LOURDES - PHYTOPLANCTON

Répartition des principaux groupes d'algues

