

A M I C I N A T U R A E

Neuchâtel

1974

Etude de l'importance relative des sources de phosphates
et de nitrates dans le bassin supérieur du Seyon / NE.

par F.Straub et Th.Edye

Ont participé à ce travail par
l'élaboration d'un film didactique :

MM.F.Spichiger

A.Fellrath

U.Gnägi

AVANT - P R O P O S

Le Club des Jeunes Amis de la Nature, plus connu dans les milieux d'étudiants de Neuchâtel sous le nom d'Amici Naturae, est une société de jeunes gens dont le but a toujours été d'étudier les sciences naturelles sous le couvert de la camaraderie. Ainsi, des étudiants qui se destinent souvent à d'autres professions ont la possibilité de prendre conscience plus profondément des problèmes liés à notre environnement. En plus de son activité hebdomadaire qui consiste en des exposés préparés par les membres, de tous temps le Club a senti le besoin de se plonger dans des travaux de plus grande envergure. Ceci pour deux raisons: fortifier l'amitié existant au sein du club et résoudre un problème particulier en utilisant des techniques et des méthodes scientifiques valables. Ainsi furent étudiés tour à tour Le Loclat, près de St. Blaise, les blocs erratiques du pied du Jura, les batraciens de canton de Neuchâtel, la Grotte de Ver, dans les Gorges de l'Areuse, ainsi que la Vieille Thielle.

En avril 1972, la décision d'entreprendre un travail sur la pollution des eaux fut prise sur le conseil de M.A. Jacot-Guillarmod, directeur de l'Institut de Chimie de l'Université, qui nous présenta un travail réalisé par des élèves du Gymnase de Bienne, sur la pollution de l'air et de l'eau dans la région biennoise. Ce travail nous a fait prendre conscience, qu'avec des moyens simples et des connaissances peu spécialisées, nous étions capables de présenter un travail d'une valeur scientifique certaine, susceptible d'intéresser le public.

I N T R O D U C T I O N

Le thème et le cadre de ce travail nous furent proposés par M.A.Burger,directeur de l'Institut de Géologie de l'Université.

Nous savons,dans le cadre de l'eutrophisation des lacs,que les rivières et les égouts amènent des quantités appréciables de fertilisants sous forme de phosphates,de nitrates et de sels de potassium.Ces fertilisants,particulièrement les phosphates et les nitrates,provoquent une forte croissance des populations d'algues.Lorsque ces organismes meurent,l'oxydation de leurs matières organiques consomme tout naturellement de l'oxygène. Par le fait que ces populations sont trop denses,trop d'oxygène est consommé.Dans certains cas,l'utilisation de l'oxygène étant tellement élevée,que les brassages saisonniers des lacs ne suffisent plus à les réoxygéner sur toute leur profondeur. Un milieu anaérobique,peuplé de micro-organismes réducteurs s'installe alors au fond des lacs et est caractérisé par la couleur noire des sédiments,ainsi que par la production d'hydrogène sulfuré et de méthane.Dans ces zones,toute vie est naturellement bannie.

La connaissance de l'importance relative de toutes les sources de ces fertilisants est précieuse pour estimer,par exemple,l'efficacité des traitements de troisième stade de l'épuration des eaux.

Pour aborder une telle étude,il convient tout d'abord de déterminer qu'elles sont les sources de fertilisants.

Les phosphates proviennent:

- a) des déjections humaines et des eaux résiduelles
- b) du lessivage des terres forestières
- c) du lessivage des terres engraisées pour les besoins de l'agriculture.

Les nitrates proviennent:

- a) des déjections humaines et des eaux résiduelles
- b) des précipitations atmosphériques
- c) du lessivage des terres forestières
- d) du lessivage des terres engraisées pour les besoins de l'agriculture.

Si l'on examine quelque peu ces paramètres, qu'il s'ajira par la suite de quantifier, nous remarquons qu'ils conditionnent notre choix quand au terrain, quand au bassin hydrogéologique que nous allons étudier.

La première condition est que les agglomérations situées sur notre terrain soient toutes reliées à des stations d'épuration. Cela, afin que les eaux usées aient subit un traitement analogue sur toute la surface de notre territoire (stades primaire et secondaire de l'épuration des eaux) avant d'être déversées dans les cours d'eau naturels. La canalisation des eaux usées par le biais des stations d'épuration est aussi indispensable pour estimer le débit d'eau usée provenant de la population. C'est à cette condition seulement que nous pourrions estimer un export moyen en fertilisants par habitant qui ait une certaine valeur.

La seconde condition est d'avoir un bassin hydrogéologique bien délimité, sans contacts avec les bassins voisins sous forme de pertes ou de résurgences occultes.

Enfin une région peu industrialisée, essentiellement agricole est nécessaire, afin de ne pas devoir envisager des paramètres spéciaux qui compliqueraient inutilement l'étude.

Dans le premier chapitre nous montrerons comment le bassin supérieur du Seyon, près de Neuchâtel, offre toutes ces conditions indispensables.

1 L E V A L D E R U Z

1.1 Hydrogéologie

Le fond du synclinal du Val de Ruz, bien reconnaissable parmi les chaînes du Jura par sa forme de large cuvette pincée brusquement au sud-ouest et au nord-est, est entièrement recouvert par une moraine de fond datant de la période du Würm. Ces dépôts peu perméables ainsi que les terrains tertiaires sous-jacents déterminent le bassin superficiel supérieur du Seyon, qui est pratiquement indépendant de l'aquifère de la Serrière représenté par les calcaires du Malm qui forment la structure du Val de Ruz. (CF. coupe géologique p.6).

En négligeant un certain nombre de contacts qui existent entre les deux bassins hydrogéologiques, nous pourrions estimer que l'eau qui tombe sous forme de pluie sur les terrains quaternaires du fond du Val de Ruz, en ressort intégralement à Valangin, par le Seyon. Par contre l'eau qui tombe sur les flancs du Val de Ruz, s'infiltré en profondeur dans les fissures des calcaires sous-jacents et a de ce fait une autre destinée.

Au point de vue topographique, le pourtour de la surface morainique est à peu près déterminée par la limite inférieure des forêts, qui boisent les flancs du Val de Ruz.

1.2 Géographie humaine

Le bassin du Seyon comprend les 13 communes suivantes dont la population pour 1974 est indiquée.

Coffrane	468 hab.
----------	----------

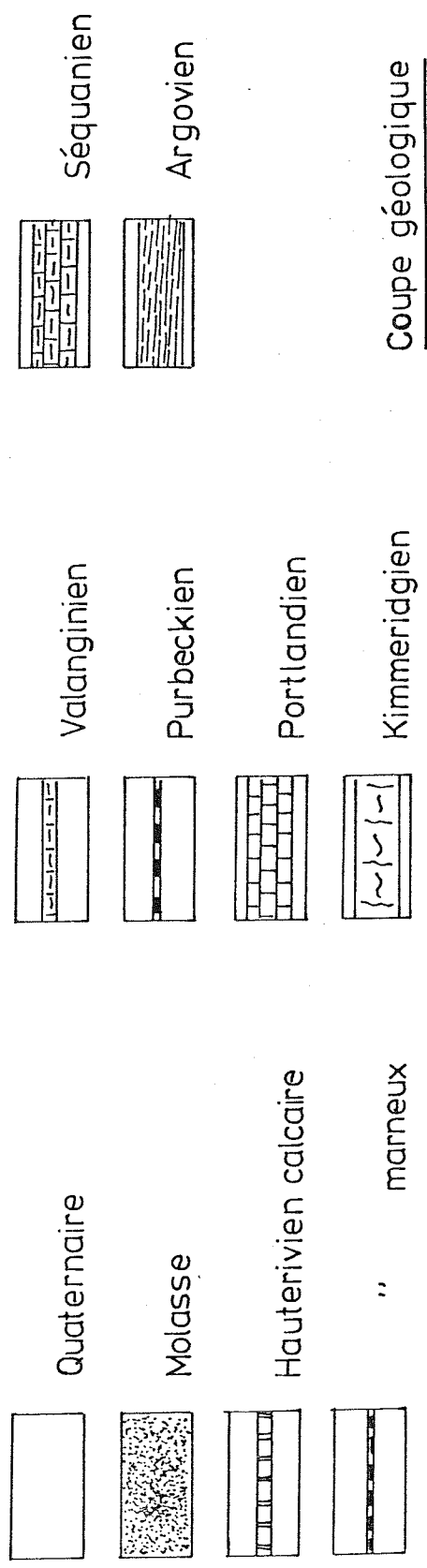
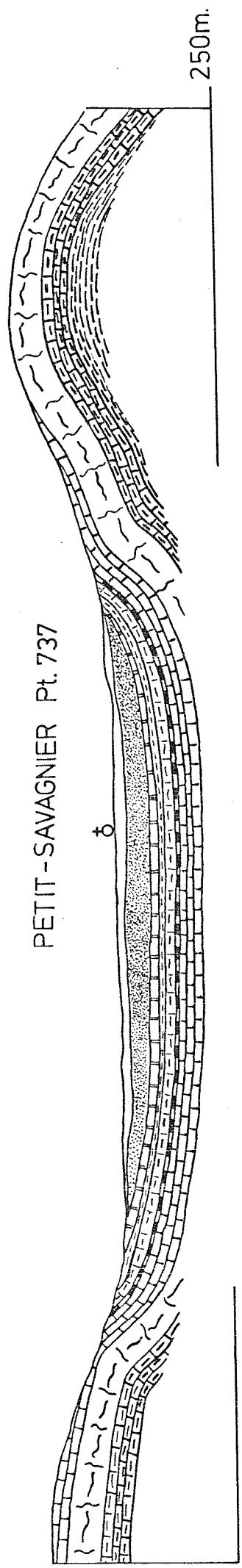
Les Geneveys s/Coffrane	1337 "
-------------------------	--------

V a l d e R u z

Montagne de
CHEZARD

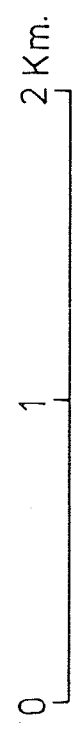
Chaumont

PETIT-SAVAGNIER Pt. 737



Coupe géologique

d'après E.Lüthi



Boudevilliers	471 hab.	
Fenin-Vilars-Saules	343 "	
Savagnier	490 "	
Engollon	58 "	
Fontaines	589 "	(576 hab. en 1973)
Hôpital de Landayeux	155 "	(en moyenne)
Hauts-Geneveys	592 "	
Fontainemelon	1605 "	
Cernier	1691 "	
Chézard-St.Martin	1122 "	
Dombresson	1104 "	
Villiers	192 "	
total	10217 "	

Le territoire du Val de Ruz est essentiellement agricole. Il est à noter aucun complexe industriel. Seules de petites entreprises de mécanique de précision et d'horlogerie offrent de l'emploi à la population. (CF. carte p.8)

1.3 Agriculture

Durant l'année, les terres sont principalement enrichies pendant les fumures d'automne et celles de printemps. Ces périodes ne sont pas fixes d'une année à l'autre mais dépendent évidemment des conditions météorologiques .

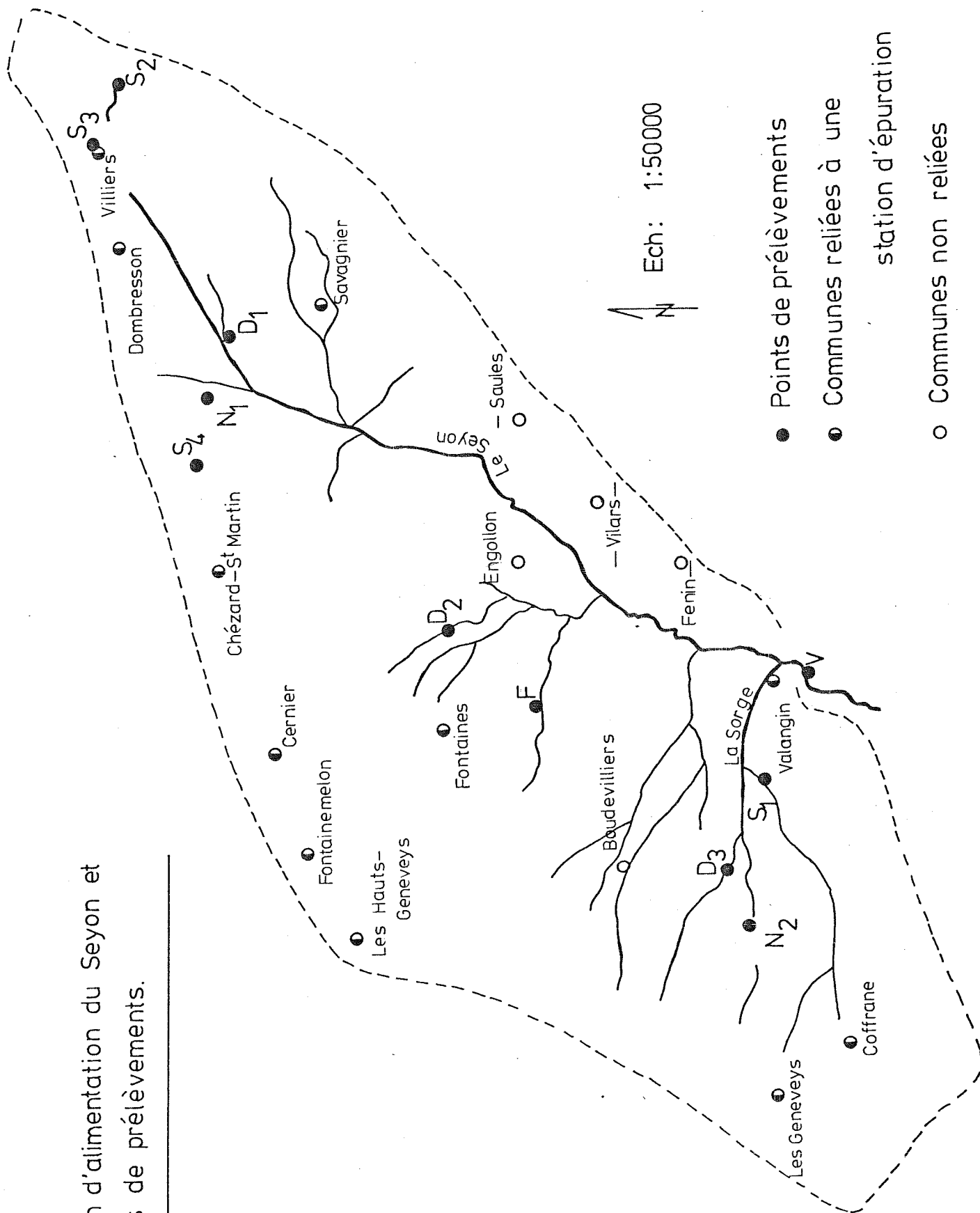
a) fumures d'automne: mi-septembre à mi-octobre pour 1973. C'est surtout à cette époque que l'on épand des engrais phosphatés, c'est à dire des scories Thomas et des engrais aux polyphosphates. Sont aussi épandus des engrais potassés. Un apport d'engrais complet est parfois nécessaire pour les céréales qui ont de la peine à lever.

b) fumures de printemps: mars à mai pour 1974 . Cette période est

(*) Communication orale de M.F. Sandoz, ancien directeur de l'école d'agriculture de Cernier, le 30.7.74 .

29.7.74

Bassin d'alimentation du Seyon et points de prélèvements.



plutôt marquée par un enrichissement des sols en engrais azotés. Elle correspond avec le début de la période de végétation. Sont parfois épandus des engrais de couverture sur les plantes sarclées.

(**) La quasi majorité des engrais utilisés au Val de Ruz ^{et} sont commercialisés par la Société d'Agriculture. Pour 1973 et 1974 les quantités suivantes d'engrais phosphatés ont été commercialisés:

	<u>1973</u>	<u>1974</u>
Scories Thomas à 17 % de P_2O_5	1350 t	1145 t
Super-phosphates à 17,5 % "	208 t	222 t
Hyper-phosphates à 45 % "	?	15 t
Hyper-phosphates à 29 % "	?	25 t

1.4 Epuration des eaux

Les 13 communes citées sous 1.2 déversent leur eaux usées sur le bassin que nous venons de décrire. A part Fenin-Vilars-Saules, Engollon et Boudevilliers, ce qui représente 8,5 % de de la population totale du Val de Ruz en 1974, toutes les communes sont reliées à une station d'épuration équipée pour le traitement mécanique et biologique des eaux usées. Pendant la période qui nous intéresse, la station de Fontaines commençait à faire des essais pour la précipitation des phosphates. (CF. carte p.8) .

La population de Valangin n'est pas prise en considération pour des raisons qui seront éclaircies tantôt.

(**) Communication orale du Secrétariat de la Société d'Agriculture du Val de Ruz, le 9.4.75 .

1.5 Considérations

En résumé, le Val de Ruz nous offre les avantageuses conditions de travail suivantes:

- a) un bassin d'alimentation bien défini, indépendant des bassins voisins.
- b) une région peu industrialisée
- c) les eaux de 92,5 % de la population subissent un traitement analogue.

Pour étudier l'importance des sources de phosphates et de nitrates, il nous suffira d'étudier les eaux de la surface cultivée de Val de Ruz (collecteurs de drainage, sources, exutoires de stations d'épuration).

Les eaux drainées par le Seyon à Valangin retiendront spécialement notre attention. Enfin, les valeurs obtenues par analyses devront être comparées entre elles afin de dresser un bilan.

2 P L A N D E T R A V A I L

2.1 Emplacements de prélèvements (CF. carte p.8)

2.1.1 F = Station d'épuration de Fontaines (coor:559.400/209.000)

La station d'épuration de Fontaines a été choisie pour mettre en évidence sur la base d'analyses, d'une part la variation d'export de fertilisants provenant de la population au cours de la semaine. D'autre part pour estimer un débit moyen de fertilisants par habitant..

2.1.2 V = Station limnigraphique Valangin (coor:559.575/207.125)

En cet endroit sont drainées toutes les eaux du bassin (3500 ha) par le Seyon et la Sorge. Les mesures faites à ce point nous permettront d'estimer l'export global du bassin.

La commune de Valangin déverse ses eaux usées environ 300 mètres en aval de ce point. Par ce fait la population de Valangin n'entre pas en ligne de compte dans cette étude.

2.1.3 D1 = Collecteur de drainage Les Sagnes (coor:562.725/212.575)

Surface drainée : 87 ha

2.1.4 D2 = Collecteur de drainage Les Suwards (coor:560.050/210.425)

Surface drainée: 49 ha

2.1.5 D3 = Collecteur de drainage Bottes (coor:557.840/207.800)

Surface drainée: 117 ha

Ces trois collecteurs ont été choisis pour analyser de l'eau provenant de terrains agricoles, après s'être assuré qu'aucun

d'eux n'était souillé par des eaux résiduaires.

Les surfaces drainées par ces collecteurs nous ont été fournies par M.B. Mathey. Elles ont été estimées d'après les plans des drainages qui sont déposés au Centre d'Hydrogéologie de l'Université.

2.1.6 S1 = Source Le Sorgereux (coor:558.725/207.650)

Le sud du Val de Ruz est comblé par un grand dépôt fluvio-glaciaire. Ce dépôt est divisé en une série de collines, délimitées par les cours d'eau qui existent dans la région. Ces terrains remaniés, contrairement à la moraine sous-jacente, ont acquis une perméabilité secondaire et de ce fait, sont le siège de nappes phréatiques.

Le point S1 est une décharge naturelle de la nappe qui occupe la colline du Bussy. La surface de cette colline est essentiellement défrichée pour les besoins de l'agriculture.

2.1.7 S2 = Source du Seyon (coor:565.150/213.525)

La surface d'alimentation de cette source consiste en des éboulis boisés qui bordent le pied du Grand-Chaumont. Sa délimitation géographique n'est pas exactement connue. Par contre son aire a pu être calculée d'après les mesures de débit de la source effectuées par B. Mathey pour 1969.

Débit total du 1.2 au 31.12.1969 :	750000 m ³
Précipitations atmosphériques pendant cette période (Boudevilliers) :	1084 mm
Evapotranspiration relative	485 mm

La surface est donnée par la relation suivante:

$$S = \frac{\text{débit total}}{\text{précipitations} - \text{ETR}}$$

Ce qui fait une surface de 125,2 ha.

2.1.8 S3 = Fontaine de Villiers (coor:264.575/213.850)

2.1.9 S4 = Fontaine de St.Martin (coor:561.575/212.850)

Ces deux fontaines sont directement reliées à des puits artisanaux qui sont alimentés par de complexes réseaux de drainage. Ces drainages drainent des terrains morainiques peu perméables qui sont déboisés et utilisés pour l'élevage.

2.1.10 N 1 = Nappe des Prés-Royers (coor: 562.275/212.775)

Les prélèvements ont été fait dans le puit de Cernier qui pompe l'eau dans l'étage libre de la nappe, occupant des alluvions fluvioglaciaires épais de 5-12 m. La surface d'alimentation de la nappe est défrichée. Elle n'est pas exploitée de manière intensive mais consiste en des prairies à fourrage.

2.1.11 N2 = Nappe des Paulières (coor:557.350/207.575)

La colline du Crêt de Paulière, siège d'une nappe phréatique est formée de matériel fluvioglaciaire fortement entamée par l'exploitation d'une gravière. La commune de Boudevilliers y exploite un puit quelques mois par année quand elle manque d'eau. La surface d'alimentation de la nappe est déboisée.

Les prélèvements ont été effectués au trop plein de ce puit. S.

2.2 Nature et cadence des prélèvements

2.2.1 F=Station d'épuration de Fontaines

Des prélèvements ont été effectués pendant 4 jours de la semaine suivant les fêtes de Pâques 1973. C'est uniquement pour des raisons de disponibilité que cette semaine quelque peu spéciale a été choisie. Ces quatre jours ont été choisis afin d'être représentatifs des différentes activités de la population pendant la semaine.

Mardi 24.4.73 représente un jour de reprise de l'activité après le week-end, le jour précédant étant férié.

Mercredi 25.4.73 représente un jour à activité normale.

Samedi 28.4.73 représente un jour à activité différente de la normale.

Dimanche 29.4.73 est un jours d'activité restreinte.

Les prélèvements ont été effectués à l'exutoire de la station d'épuration en vue d'analyser les phosphates totaux et l'azote sous forme nitrique et nitreux globalement.

Des échantillons d'eau ont été pris à 2h, 6h, 11h, 15h, 18h et 21h, les débits étant relevés simultanément.

2.2.2 V = Station limnigraphique Valangin

De l'eau a été prélevée toutes les semaines d'août 73 à juillet 74.

En ce point, un limnigraphe enregistrait en continu la hauteur de l'eau. Du 8 au 18.12.73 le limnigraphe fut mis hors d'état de fonctionner par des arbres arrachés lors d'une très forte crue de la rivière. La station n'a pas pu être réparée immédiatement, le débit de la rivière étant trop fort. Pendant cette période, le débit a été estimé et est représenté par des pointillés sur le graphique des résultats.

2.2.3 Autres points

Des prélèvements ont été effectués environ une fois par mois aux 9 autres points. Pour les points D1, D2, D3 et S1, un certain nombre de prélèvements supplémentaires ont été fait d'une part lors des périodes de fumure et d'autre part quelques fois après des averses plus fortes que d'habitude.

Les paramètres étudiés à ces points, ainsi qu'au point V sont les teneurs en phosphore total, en azote nitrique et nitreux, ainsi qu'en oxygène dissout. Ce dernier paramètre a été choisi afin d'avoir au moins un paramètre donnant quelques indications sur la qualité biotique de l'eau que nous analysions.

Chaque prélèvement était accompagné d'une mesure de débit ainsi que d'une mesure de la température de l'eau.

3 METHODOLOGIE

3.1 Analyses

3.1.1 Phosphore total

L'ortho-phosphate réagit en milieu acide avec le molybdate d'ammonium pour former un phosphate complexe d'hétéromolybdène, qui est ensuite réduit en bleu de phosphoremolybdène par l'acide ascorbique.

Comme en plus des ortho-phosphates, on trouve le phosphore dans les eaux sous forme de polyphosphates ou lié à des matières organiques, un traitement de minéralisation est nécessaire avant l'analyse. La digestion par voie humide au moyen d'acide sulfurique et de peroxyde d'hydrogène transforme toutes les combinaisons du phosphore en orthophosphates.

La lecture se fait au moyen d'un colorimètre à $\lambda_{\text{max}} = 660 \text{ nm}$. La comparaison se fait à l'aide de solutions étalons de biphosphates de potassium. Les analyses ont été faites à l'aide de l'Autoanalyser Technicon du Laboratoire de Géochimie de l'Université.

3.1.2 Nitrates-nitrites

Les nitrates sont réduits en nitrites par l'hydrazine à $\text{pH} = 9,6$ et diazotés par l'acide sulfanilique. Le sel de diazonium formé donne en présence d' α -naphtylamine une coloration mauve-violette. Les mesures sont faites à l'aide d'un colorimètre à $\lambda_{\text{max}} = 533 \text{ nm}$. La comparaison se fait à l'aide de solutions standards de nitrates de potassium.

Ces analyses ont été faites sur l'Autoanalyser Technicon.

3.1.3 Oxygène dissout

L'oxygène a été analysé selon la méthode bien connue de Winkler. L'échantillon est soigneusement agité en flacon hermétiquement fermé après addition de solutions de chlorure de manganèse et de soude caustique contenant de l'iodure de potassium. L'hydroxyde manganoux est précipité par la soude caustique. L'oxygène oxyde l'hydroxyde manganoux. Le précipité une fois déposé est dissout par l'acide phospho-chlorhydrique en libérant une quantité d'iode proportionnelle à la quantité d'oxygène dissout primitivement dans l'échantillon. L'iode est titré avec une solution de thiosulfate de sodium en présence d'amidon. Les analyses ont été faites manuellement. Les % de saturation ont été calculés en prenant une pression moyenne de 725 mm Hg et les températures de l'eau mesurées à chaque prélèvement.

3.2 Conservation des échantillons

Deux ml de chlorure mercurique à 1 % étaient ajoutés à un litre d'échantillon afin d'y bloquer tous les mécanismes biologiques. Au laboratoire les échantillons étaient conservés au congélateur jusqu'à l'analyse.

3.3 Mesures de débit

Au point V, la hauteur de l'eau était enregistrée en continu par un limnigraphe que nous avait installé le Service des Eaux de l'Etat. L'étalonnage a été effectué avec B. Mathey les 14.6, 26.6 et 1.7.74 par coloration à la fluorescéine.

Aux points D1, D2, D3 et S2 le débit était estimé en mesurant la vitesse d'un objet flottant, le long d'un tronçon du cours d'eau calibré le mieux possible chaque fois.

Cette méthode, certes peu précise a été choisie après avoir fait plusieurs essais infructueux de mesure de débit à l'aide de plaques

Thompson. Ces essais n'ont pas donné de bons résultats, car les débits des collecteurs étaient trop faibles et que trop de problèmes se posaient pour réellement barrer le cours d'eau d'une manière étanche.

Au point S1, la source a été captée et son eau dirigée sur une plaque en tôle afin de créer une chute. Le débit était mesuré en comptant le temps que prenait un récipient gradué pour se remplir.

Cette méthode a été utilisée directement aux goulots des fontaines des points S3 et S4.

4 R E S U L T A T S

Les résultats sont donnés sous forme de tabelles et sous forme de graphiques pour chaque point de prélèvement.

Pour chaque prélèvement sont indiqués:

la date, l'heure de prélèvement, la température de l'eau, le débit, la concentration en oxygène dissout et son % de saturation, enfin les concentrations et exports en phosphore total et en nitrates-nitrites.

Chaque graphique est accompagné d'une légende qui permettra au lecteur de le comprendre.

En plus, en bas à droite de chaque graphique un code est inscrit.

Le graphique qui porte par exemple le code " D₂ NO₃⁻ " se rapporte au point de prélèvements D2 (collecteur de drainage les Suwards) et représente les variations de concentration et d'export en nitrates-nitrites.

TABLEAU I - STATION D'EPURATION DE FONTAINES (F)

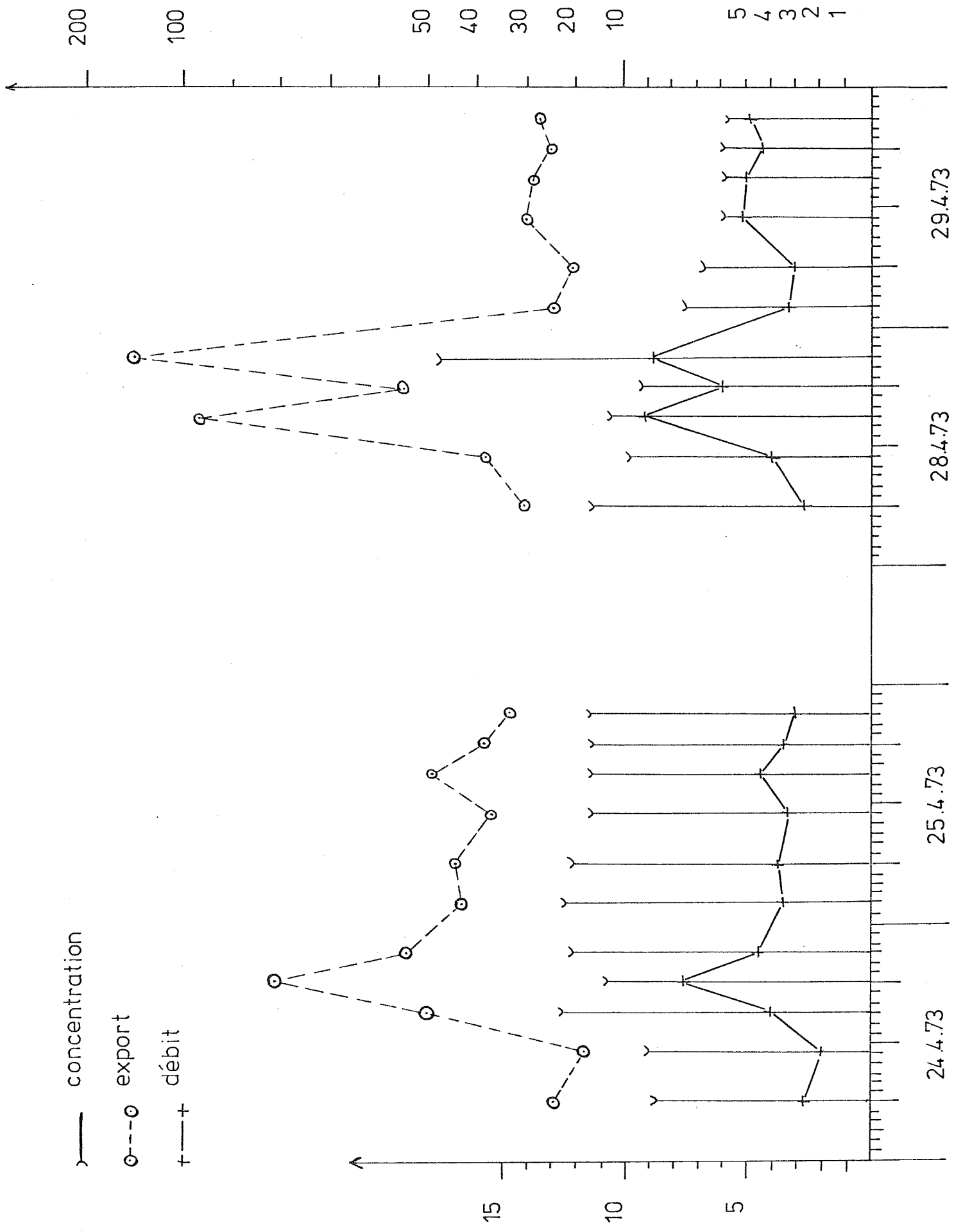
DATE	HEURE	DEBIT (l/s)	PO_4^{3-}		NO_3^-	
			CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)	CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)
24.4.73	6 ⁰⁰	2,7	8,7	24,1	4,9	13,5
"	11 ⁰⁰	2,0	9,0	18,0	10,3	20,6
"	15 ⁰⁰	4,0	12,5	50,0	8,0	32,0
"	18 ⁰⁰	7,5	10,7	80,3	3,5	26,3
"	21 ⁰⁰	4,5	12,1	54,5	2,0	9,0
25.4.73	2 ⁰⁰	3,5	12,3	43,1	2,0	7,0
"	6 ⁰⁰	3,7	12,0	44,4	2,0	7,4
"	11 ⁰⁰	3,3	11,2	37,1	1,1	3,6
"	15 ⁰⁰	4,4	11,3	49,7	2,6	11,4
"	18 ⁰⁰	3,4	11,2	38,6	0,5	1,7
"	21 ⁰⁰	3,0	11,3	33,9	1,3	3,9
28.4.73	6 ⁰⁰	2,7	11,3	30,5	1,6	4,3
"	11 ⁰⁰	4,0	9,7	38,8	1,1	4,4
"	15 ⁰⁰	9,2	10,5	96,6	0,2	2,3
"	18 ⁰⁰	6,0	9,2	55,2	1,0	6,0
"	21 ⁰⁰	8,8	17,5	154,0	0,5	4,4
29.4.73	2 ⁰⁰	3,3	7,5	24,8	4,6	15,2
"	6 ⁰⁰	3,1	6,7	20,8	10,0	31,0
"	11 ⁰⁰	5,2	5,8	30,2	12,5	65,0
"	15 ⁰⁰	5,0	5,8	29,0	7,5	37,5
"	18 ⁰⁰	4,2	5,9	25,1	7,7	32,7
"	21 ⁰⁰	4,9	5,6	27,4	0,6	2,9

F PO₄³⁻

— concentration
○---○ export
+---+ débit

concentration [mg/l]

débit [l/s]
export [mg/s]



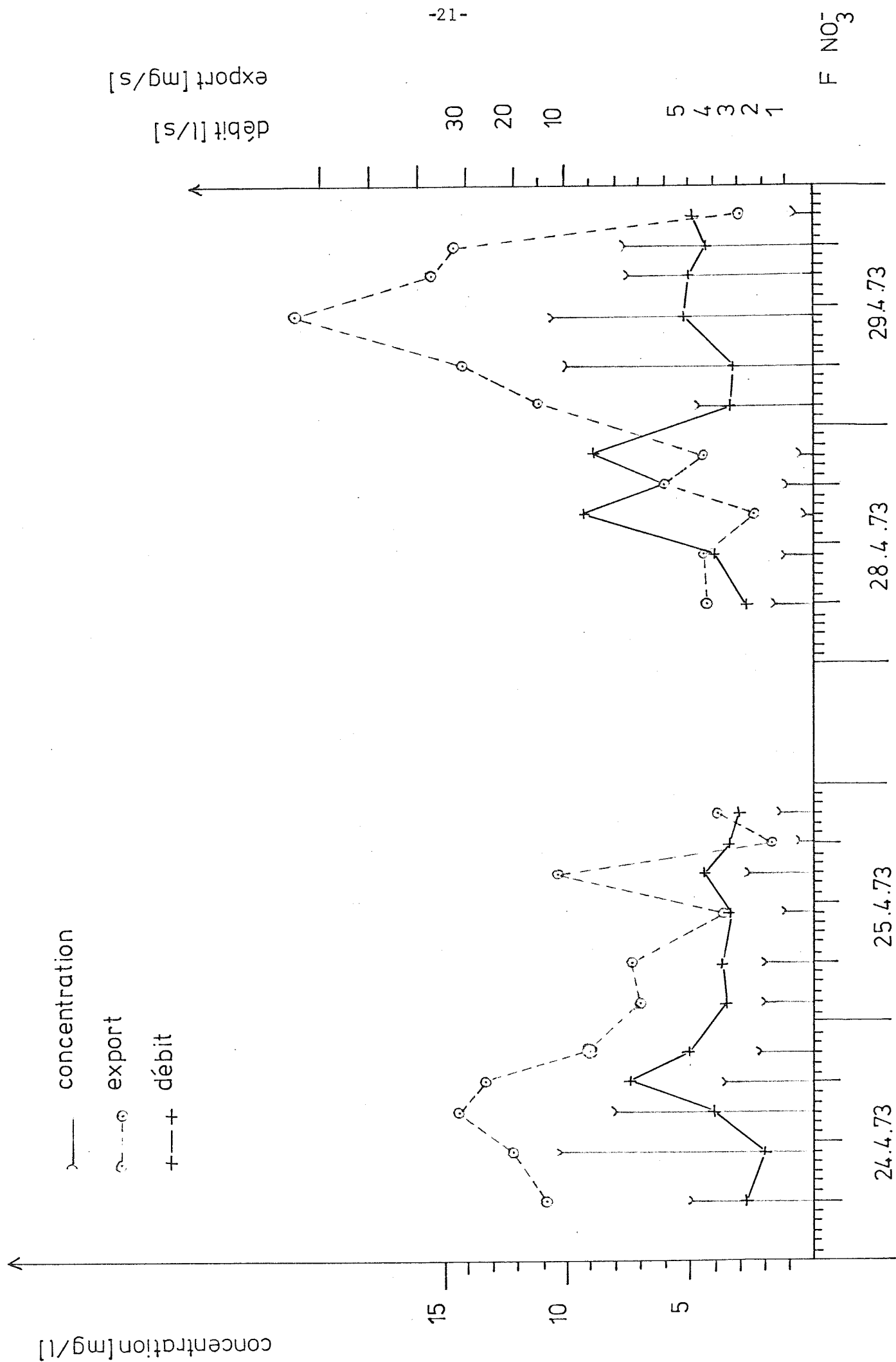


TABLEAU II - STATION LIMNIGRAPHIQUE VALANGIN (V)

DATE	HEURE	TEMP. H ₂ O (°C)	DEBIT (l/s)	O ₂ CONC. (mg/l)	% DE SATURATION	PO ₄ ³⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)	NO ₃ ⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)
11.8.73	12 ¹⁵	16,0	200	8,1	85,3	3,9	780	11,6	2320
18.8.73	9 ⁵⁰	13,5	120	7,2	72,0	4,3	516	15,4	1848
25.8.73	10 ⁰⁵	14,5	100	7,6	77,6	9,3	930	18,4	1840
1.9.73	13 ⁰⁰	12,0	85	6,2	60,2	7,2	612	12,6	1071
8.9.73	17 ⁰⁰	11,0	80	6,0	56,6	11,3	904	22,8	1824
15.9.73	12 ¹⁵	12,5	70	4,95	48,5	8,8	616	46,0	3220
22.9.73	11 ²⁰	10,0	80	7,35	68,1	6,5	520	28,4	2272
27.9.73	14 ²⁰	9,5	80	8,9	81,3	11,0	880	31,4	2512
29.9.73	16 ²⁰	10,0	300	6,15	56,9	12,8	3840	18,2	5460
1.10.73	15 ¹⁵	8,5	80	8,0	71,4	7,2	576	28,4	2272
6.10.73	12 ⁴⁰	10,5	60	8,5	79,4	12,8	768	33,4	2004
13.10.73	11 ⁰⁰	7,0	50	9,5	81,9	12,8	640	18,0	900
20.10.73	10 ²⁵	9,0	430	10,7	96,4	1,5	645	20,9	8987
27.10.73	11 ¹⁵	5,0	190	12,1	99,2	2,9	551	20,0	3800
1.11.73	17 ⁰⁰	6,5	160	11,2	95,3	5,7	912	15,8	2528
10.11.73	10 ¹⁵	3,5	260	11,3	89,0	0,8	208	14,9	3874
17.11.73	13 ⁰⁰	8,0	1350	12,3	100,0	1,45	1957,5	28,0	37800
24.11.73	15 ⁴⁰	5,0	320	12,3	100,0	2,0	640	68,0	21760
1.12.73	14 ¹⁰	1,5	260	13,0	97,0	21,3	5538	50,0	13000

TABLEAU II (suite)

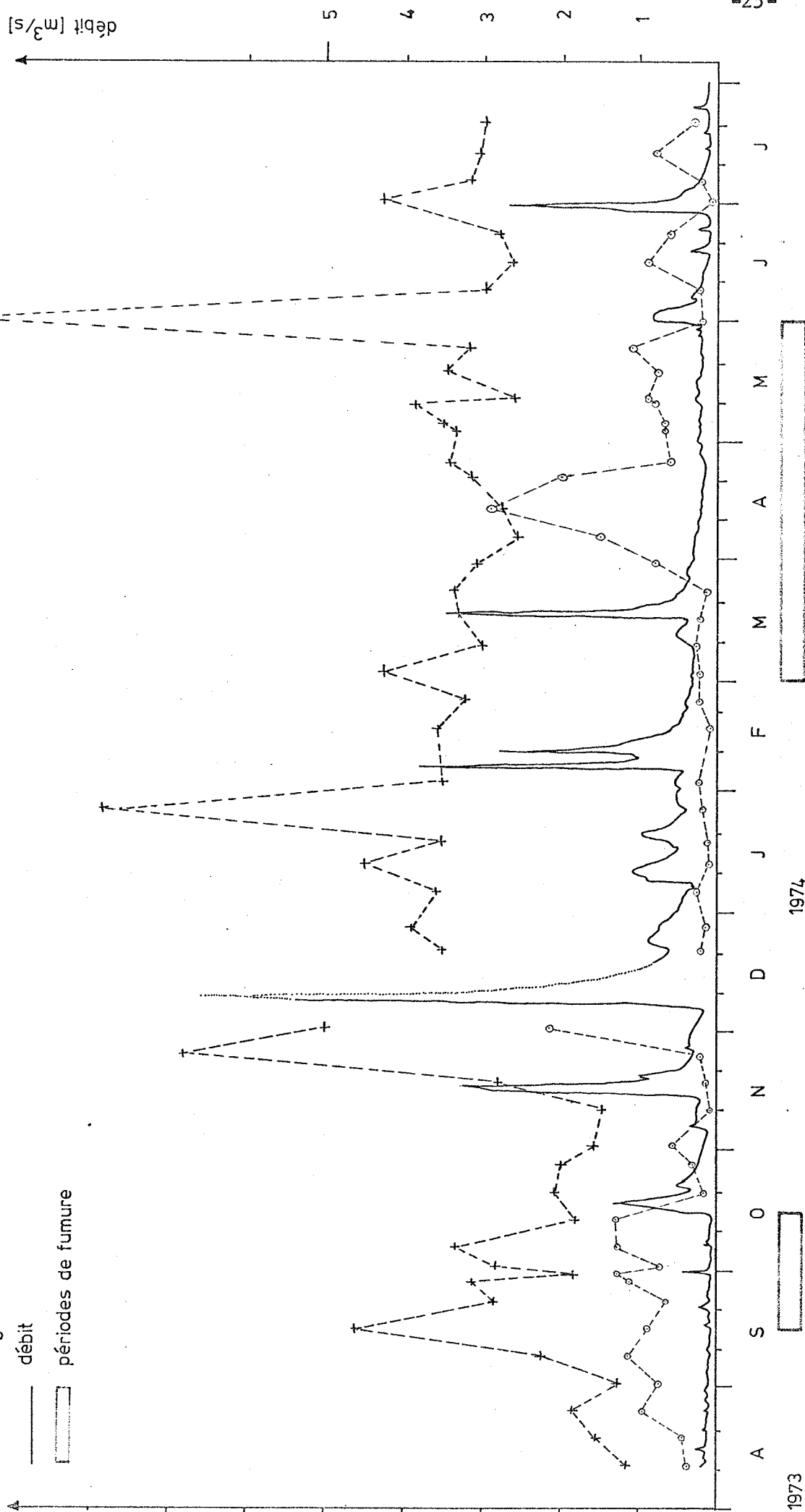
DATE	HEURE	TEMP. H ₂ O (°C)	DEBIT (l/s)	O ₂ CONC. (mg/l)	% DE SATURATION	PO ₄ ³⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)	NO ₃ ⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)
21.12.73	15 ⁵⁰	4,5	600	13,1	100,0	1,8	1080	35,2	21120
27.12.73	14 ¹⁰	5,0	750	12,4	100,0	1,3	975	39,0	29250
5.1.74	10 ²⁰	2,0	240	13,3	100,0	2,5	600	35,7	8568
12.1.74	14 ⁰⁰	5,0	1050	12,9	100,0	1,0	1050	45,0	47250
18.1.74	10 ⁰⁰	3,5	600	12,8	100,0	1,1	660	35,1	21060
26.1.74	12 ²⁵	4,0	400	12,5	100,0	1,8	720	78,4	31360
2.2.74	14 ¹⁵	5,0	500	12,5	100,0	2,3	1150	35,1	17550
16.2.74	11 ⁰⁰	4,5	630	11,9	96,6	0,9	567	36,0	22680
23.2.74	12 ⁰⁰	4,5	430	12,0	97,2	2,1	903	32,4	13932
2.3.74	11 ⁰⁰	3,0	300	12,8	99,2	2,1	630	42,9	12870
9.3.74	10 ¹⁵	2,0	280	12,1	91,7	2,7	756	30,0	8400
16.3.74	11 ⁴⁵	4,0	430	13,0	100,0	2,1	903	33,0	14190
23.3.74	10 ³⁰	7,0	430	12,4	100,0	1,3	559	33,6	14448
30.3.74	11 ⁵⁰	9,0	340	12,0	100,0	8,0	2720	30,9	10506
6.4.74	11 ¹⁵	7,0	280	12,6	100,0	15,0	4200	25,5	7140
13.4.74	10 ³⁰	9,0	200	11,6	100,0	29,0	5800	27,6	5520
21.4.74	11 ⁵⁰	7,0	170	13,4	100,0	20,0	3400	31,5	5355
25.4.74	15 ³⁰	8,0	170	11,0	97,3	6,0	1020	34,5	5865
3.5.74	11 ³⁰	7,5	160	11,3	98,7	6,8	1088	33,6	5376

TABLEAU II (suite)

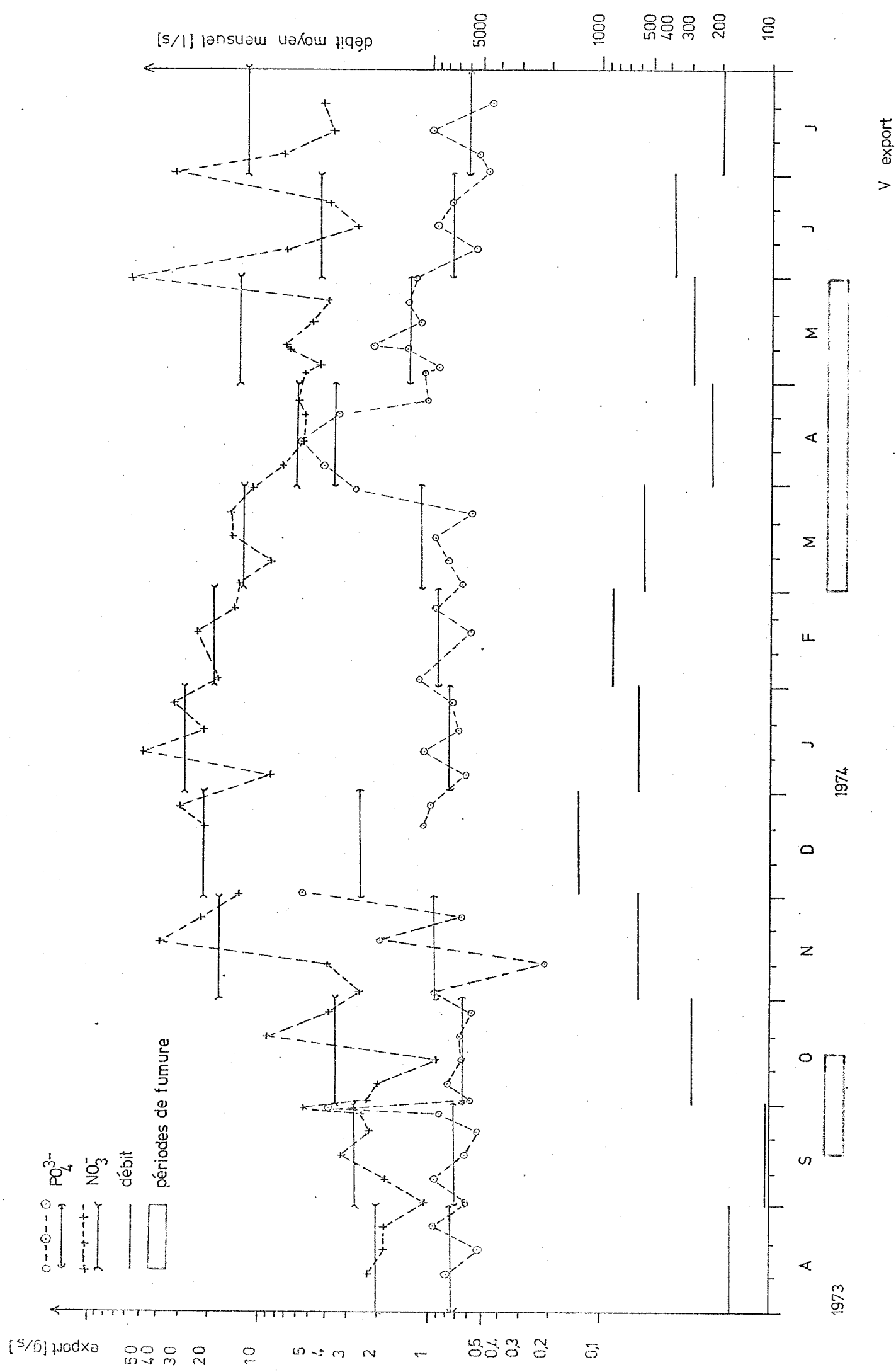
DATE	HEURE	TEMP. H ₂ O (°C)	DEBIT (l/s)	O ₂ CONC. (mg/l)	% DE SATURATION	PO ₄ ³⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)	NO ₃ ⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)
5.5.74	11 ³⁰	8,0	130	10,9	96,5	6,8	884	35,1	4563
10.5.74	17 ³⁰	9,0	170	8,75	78,8	8,0	1360	39,0	6630
11.5.74	11 ⁰⁰	9,0	260	9,7	87,4	9,0	2340	26,4	6864
18.5.74	10 ³⁰	10,5	140	10,0	93,5	7,9	1106	34,8	4872
24.5.74	12 ⁴⁵	10,0	120	10,6	98,1	11,1	1332	31,8	3816
31.5.74	10 ³⁰	13,0	600	9,8	97,0	2,0	1200	96,0	57600
8.6.74	10 ³⁰	10,0	230	10,2	94,4	2,3	529	30,0	6900
15.6.74	11 ³⁰	13,5	100	9,3	93,0	9,0	900	26,4	2640
22.6.74	11 ³⁰	14,0	120	10,3	100,0	6,0	720	28,2	3384
1.7.74	9 ⁰⁰	12,0	740	9,35	90,8	0,6	444	42,6	31524
6.7.74	12 ⁰⁵	13,0	230	9,5	94,1	2,2	506	31,8	7314
13.7.74	14 ³⁰	15,0	120	9,9	100,0	8,0	960	30,9	3708
21.7.74	14 ¹⁰	14,0	140	11,3	100,0	3,2	448	30,0	4200

concentration [mg/l]

PO_4^{3-}
 NO_3^-
débit
périodes de fumure



V concentrations



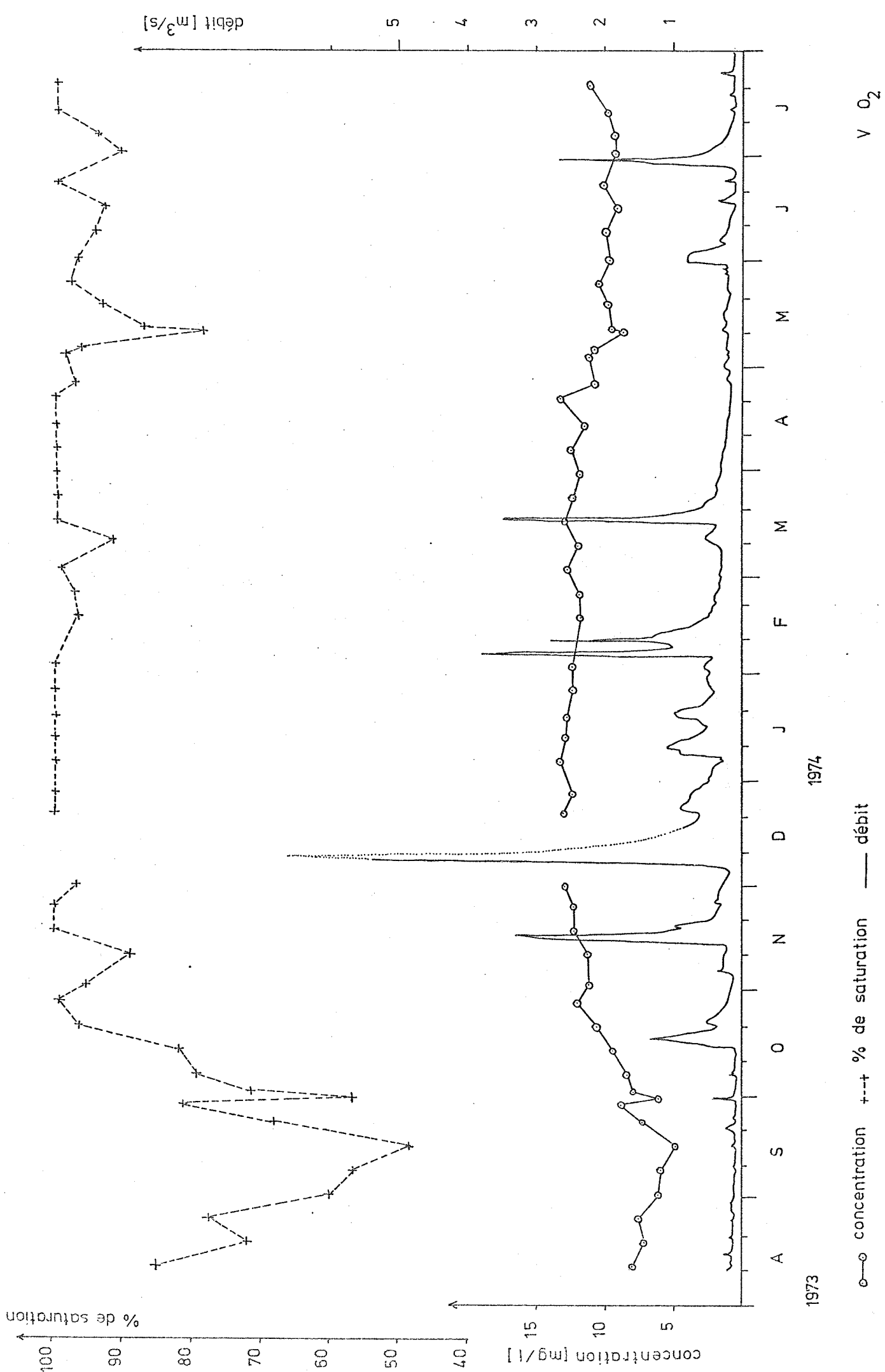
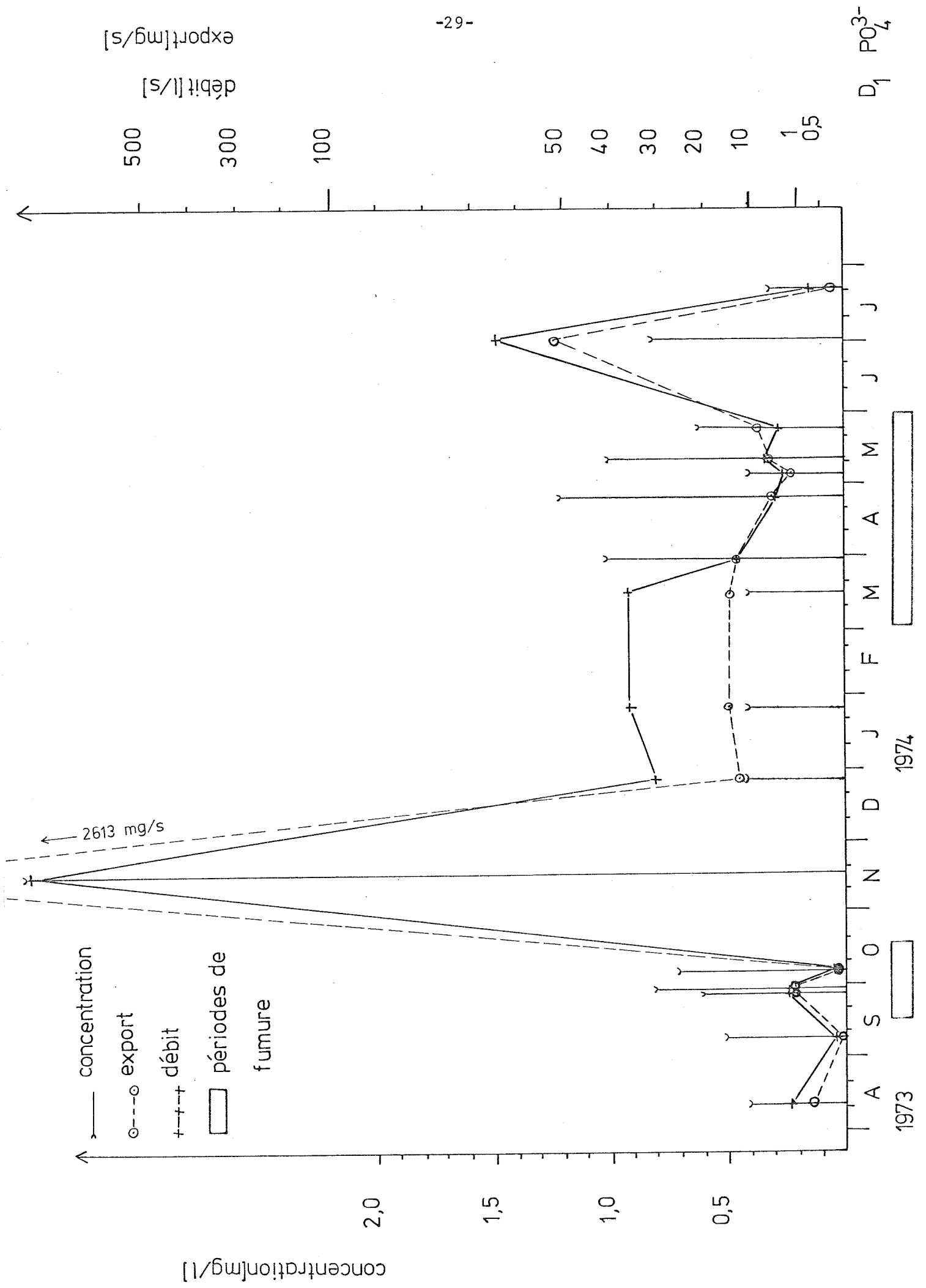
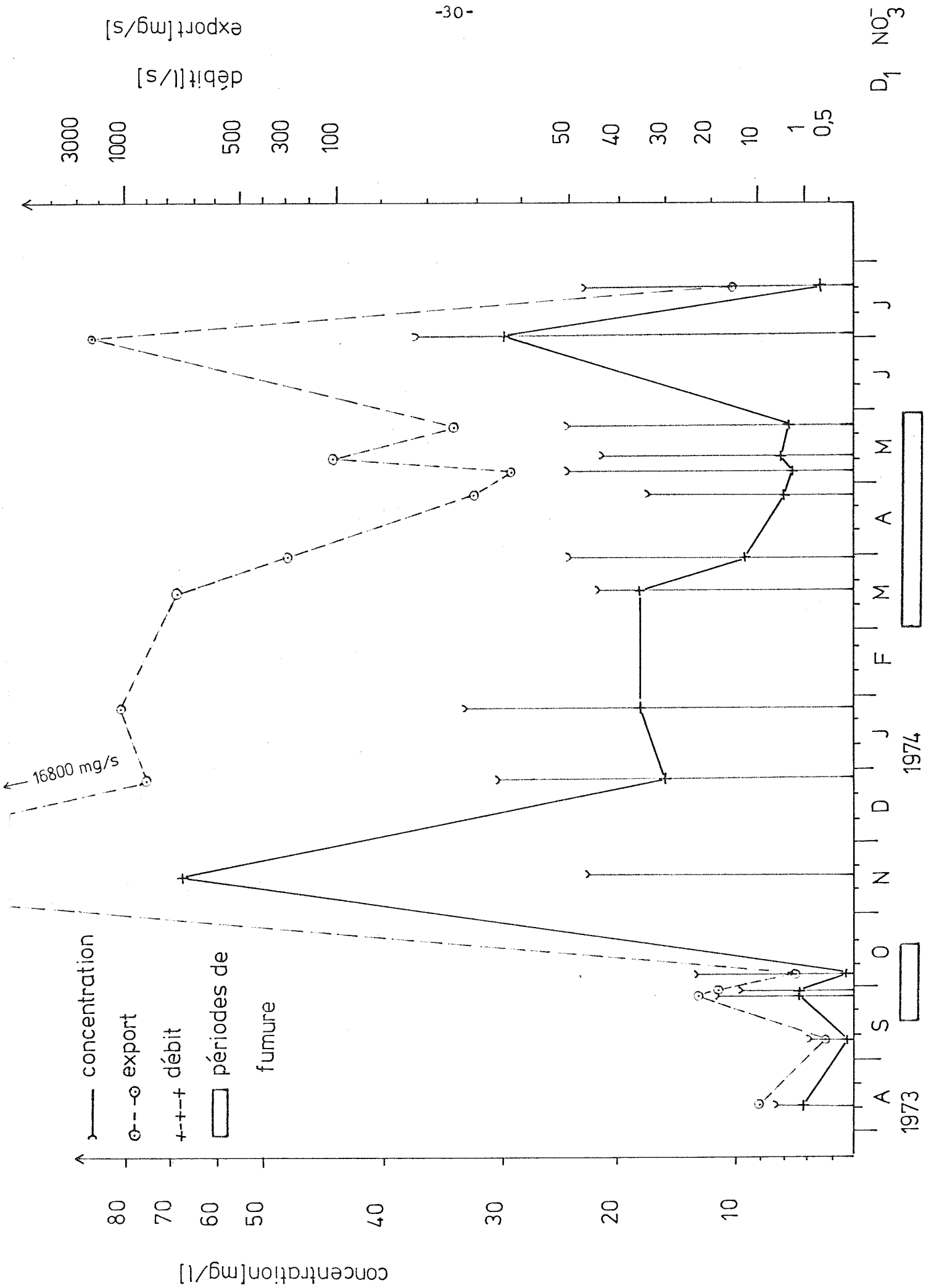
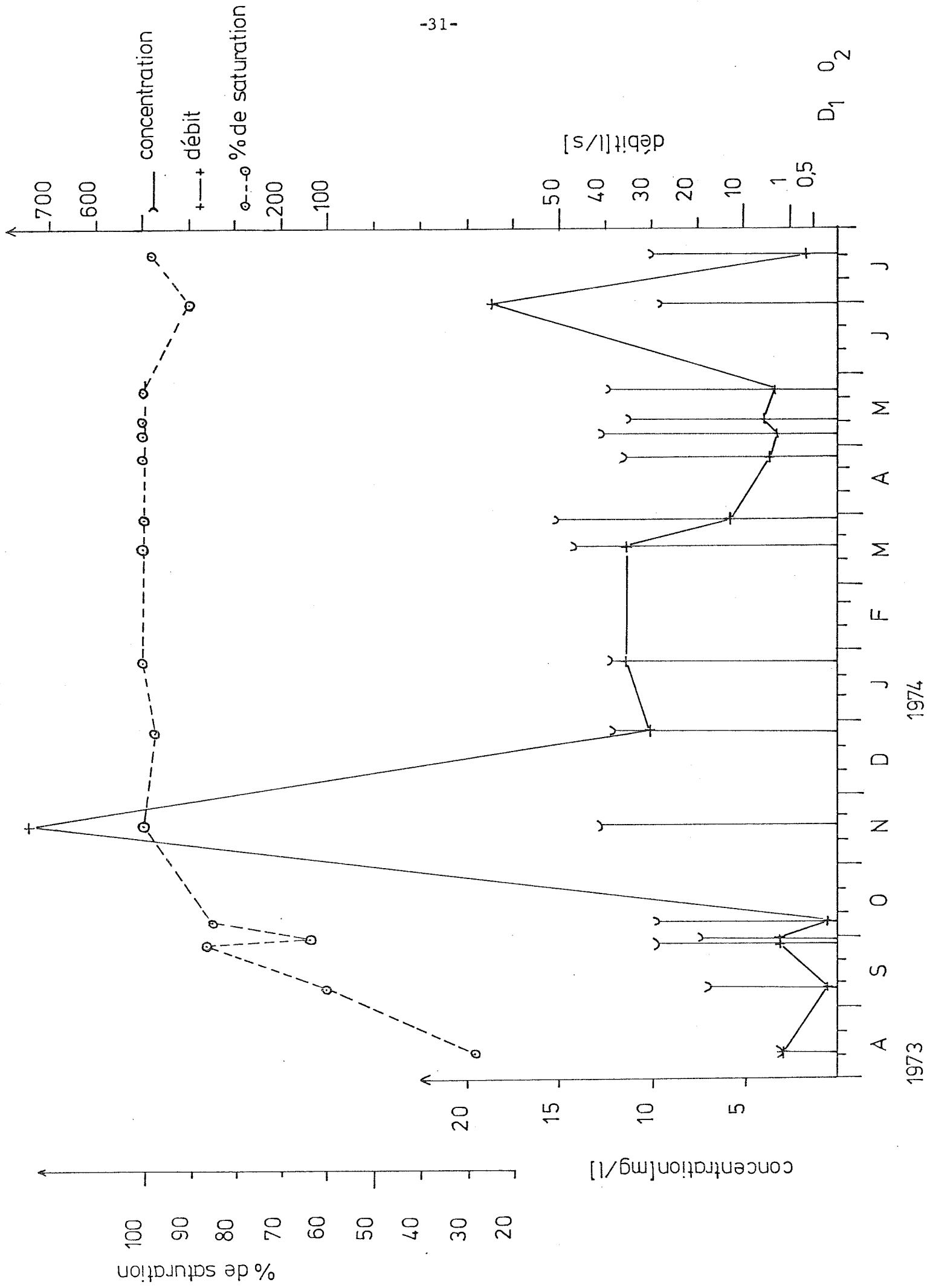


TABLEAU III - COLLECTEUR DE DRAINAGE LES SAGNES (D₁)

DATE	HEURE	TEMP. H ₂ O (°C)	DEBIT (l/s)	O ₂ CONC. (mg/l)	% DE SATURATION	PO ₄ ³⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)	NO ₃ ⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)
11. 8.73	10 ¹⁵	13,0	1,7	2,85	28,2	0,4	0,68	6,3	10,71
8. 9.73	14 ⁴⁵	14,5	0,17	5,94	60,6	0,5	0,09	3,8	0,65
27. 9.73	14 ⁵⁰	9,0	2,0	9,60	86,5	0,6	1,20	11,6	23,20
29. 9.73	16 ²⁰	8,5	2,0	7,20	64,3	0,8	1,60	9,6	19,20
6.10.73	13 ¹⁰	9,0	0,2	9,55	86,0	0,7	0,14	13,4	2,68
17.11.73	16 ³⁰	8,0	746,6	12,70	100,0	3,5	2613,33	22,5	16000,00
27.12.73	16 ⁰⁰	5,0	30,0	11,90	97,5	0,4	12,00	30,0	900,00
26. 1.74	13 ⁰⁰	5,0	35,5	12,20	100,0	0,4	14,20	32,8	1164,40
16. 3.74	12 ¹⁵	5,0	35,5	14,10	100,0	0,4	14,20	21,6	776,80
30. 3.74	12 ³⁰	10,0	12,8	15,00	100,0	1,0	12,80	24,0	307,20
25. 4.74	15 ⁵⁰	9,0	4,1	11,40	100,0	1,2	4,92	17,2	70,52
5. 5.74	12 ⁰⁰	9,0	2,6	12,60	100,0	0,4	1,04	24,0	62,40
11. 5.74	11 ²⁰	9,0	5,6	11,10	100,0	1,0	5,60	21,0	117,60
24. 5.74	10 ¹⁰	9,0	3,1	12,30	100,0	0,6	1,86	24,0	74,40
1. 7.74	9 ⁴⁵	11,5	64,0	9,40	90,0	0,8	51,20	36,9	2361,60
21. 7.74	14 ⁴⁵	13,5	0,66	9,85	98,5	0,3	0,20	22,8	15,05

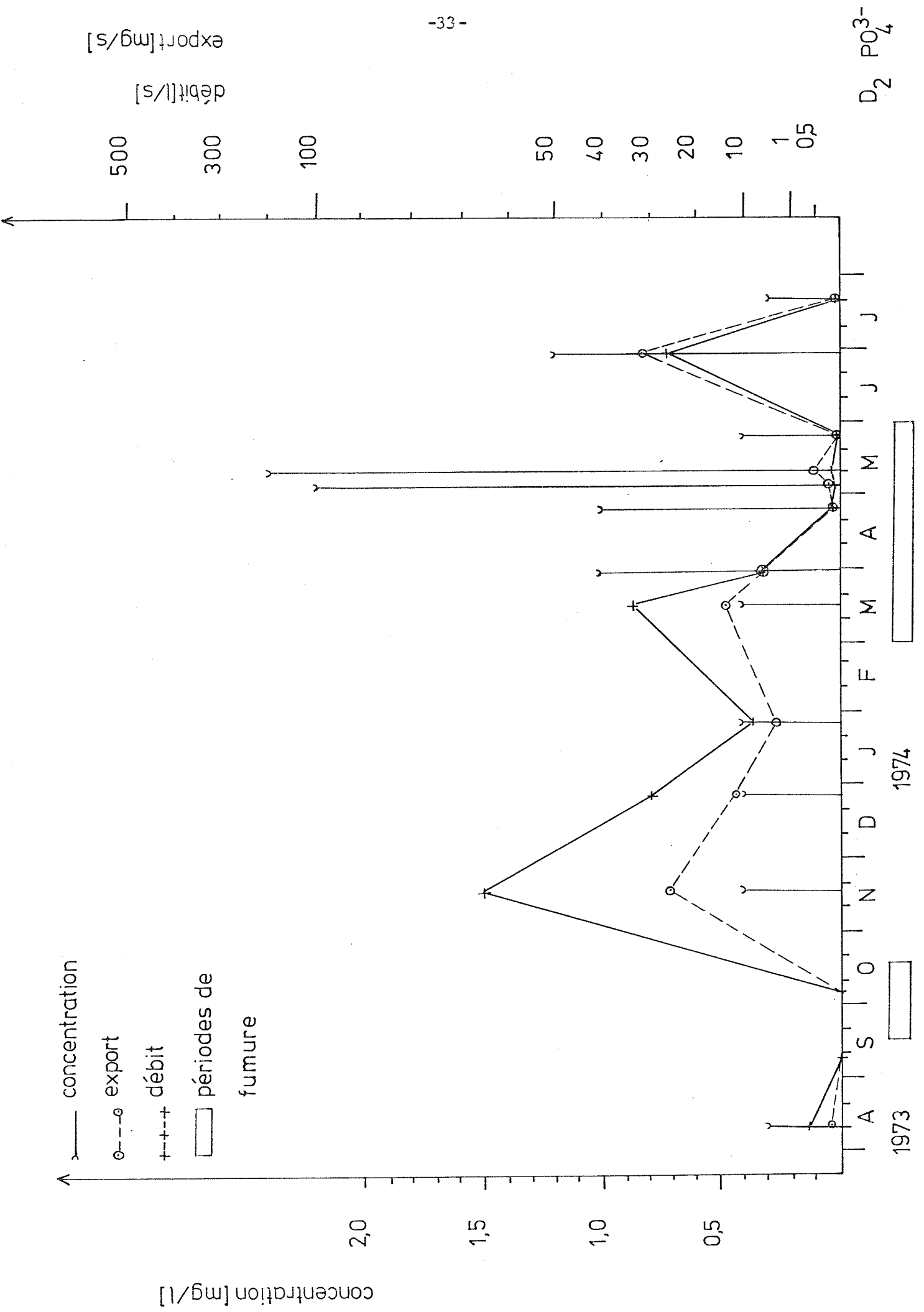


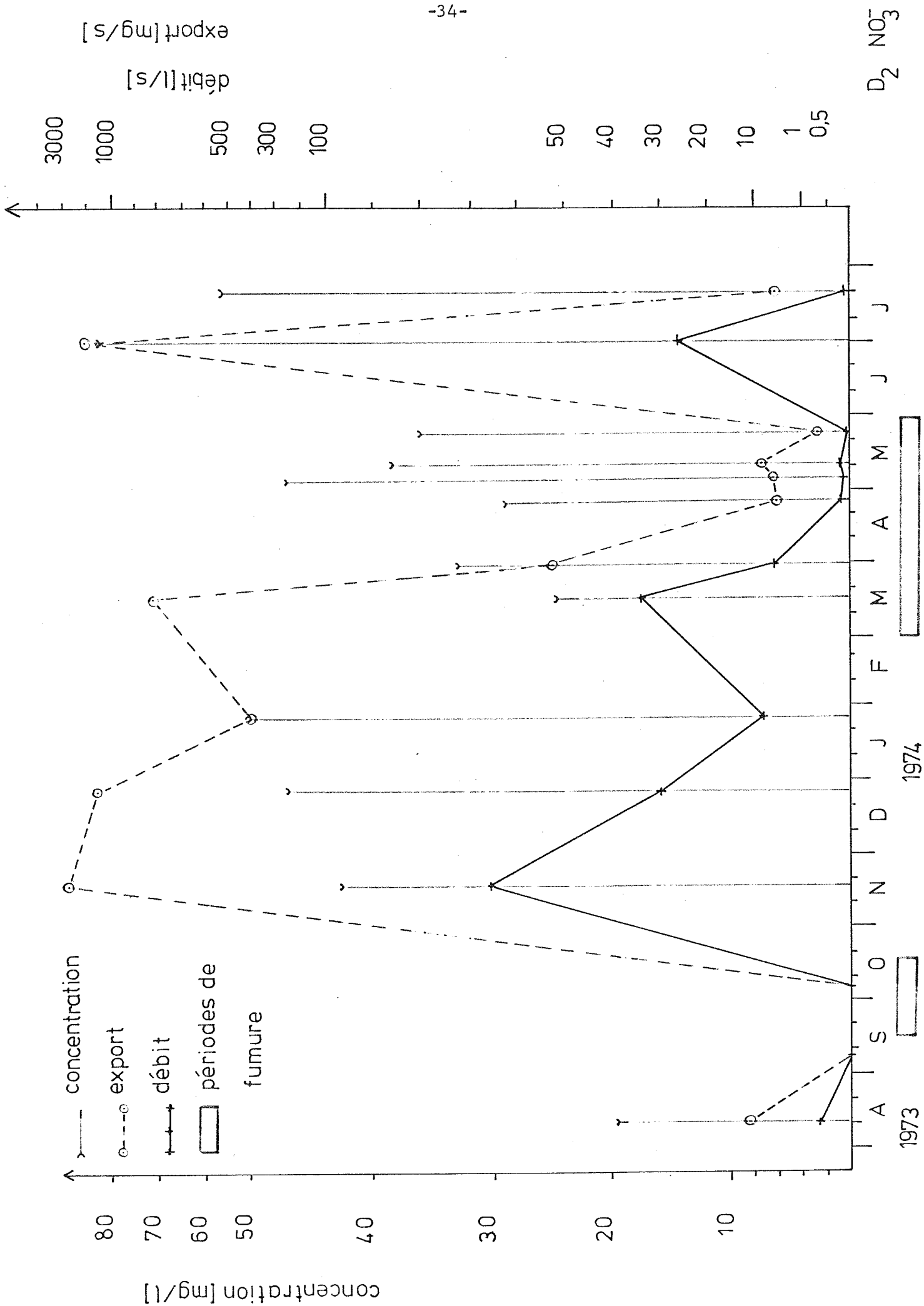




TABEAU IV - COLLECTEUR DE DRAINAGE LES SUVARDS (D₂)

DATE	HEURE	TEMP. H ₂ O (°C)	DEBIT (l/s)	O ₂ CONC. (mg/l)	% DE SATURATION	PO ₄ ³⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)	NO ₃ ⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)
11. 8.73	10 ⁰⁰	14,5	0,7	4,89	49,9	0,3	0,21	19,4	13,58
8. 9.73	16 ⁰⁰	/	0	/	/	/	0	/	0
27. 9.73	16 ³⁰	/	0	/	/	/	0	/	0
29. 9.73	17 ⁰⁰	/	0	/	/	/	0	/	0
6.10.73	15 ¹⁵	/	0	/	/	/	0	/	0
17.11.73	17 ⁰⁰	8,0	65,3	11,0	97,3	0,4	26,12	42,5	2775
27.12.73	15 ²⁰	4,0	29,9	12,1	96,8	0,4	11,96	47,0	1405
26. 1.74	14 ²⁰	4,0	8,2	13,4	100,0	0,4	3,28	50,0	410
16. 3.74	16 ¹⁵	4,0	33,7	12,3	98,4	0,4	13,48	24,4	822
30. 3.74	13 ⁰⁰	11,5	1,6	12,4	100,0	1,0	1,6	32,8	52,48
25. 4.74	17 ¹⁵	9,0	0,18	12,0	100,0	1,0	0,18	28,9	5,20
5. 5.74	12 ²⁰	10,5	0,14	12,3	100,0	2,2	0,31	47,1	6,59
11. 5.74	11 ⁴⁵	9,0	0,22	11,7	100,0	2,4	0,52	38,4	8,45
24. 5.74	11 ³⁰	12,0	0,02	12,5	100,0	0,4	0,01	36,0	0,72
1. 7.74	11 ⁰⁰	13,0	26,25	8,75	86,6	1,2	31,50	81,0	2126
21. 7.74	15 ¹⁰	15,5	0,11	10,2	100,0	0,3	0,03	56,1	6,17





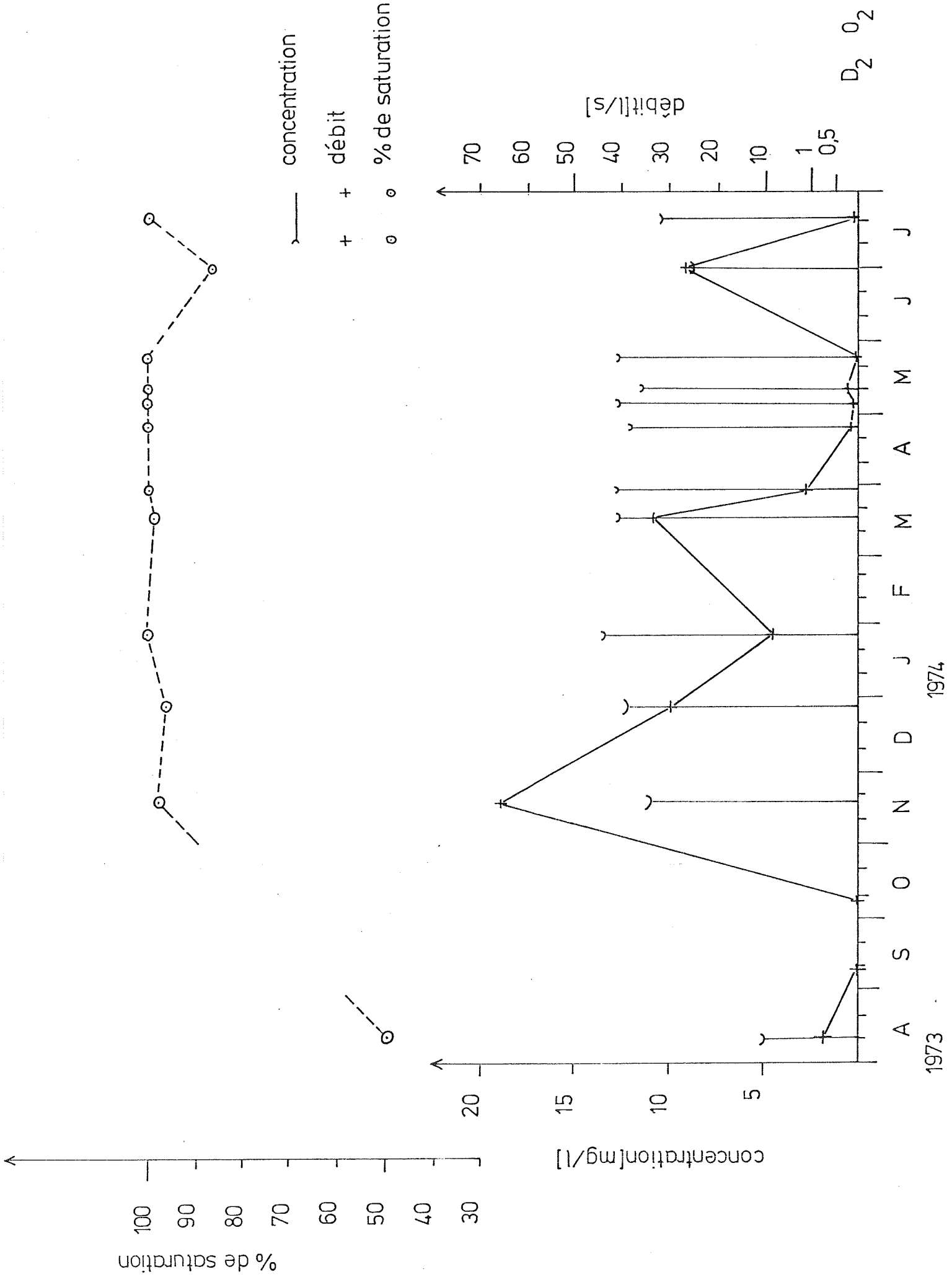
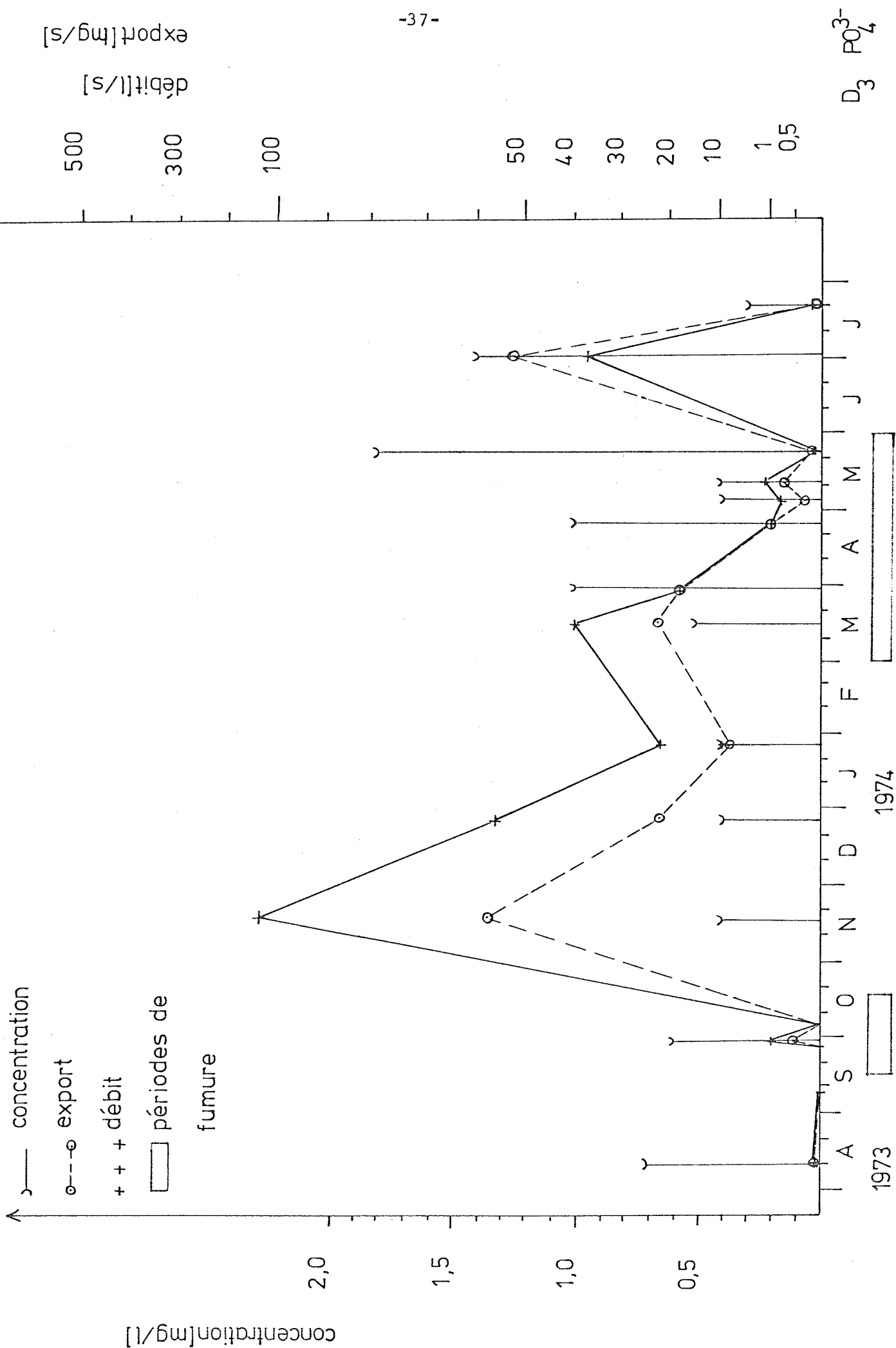
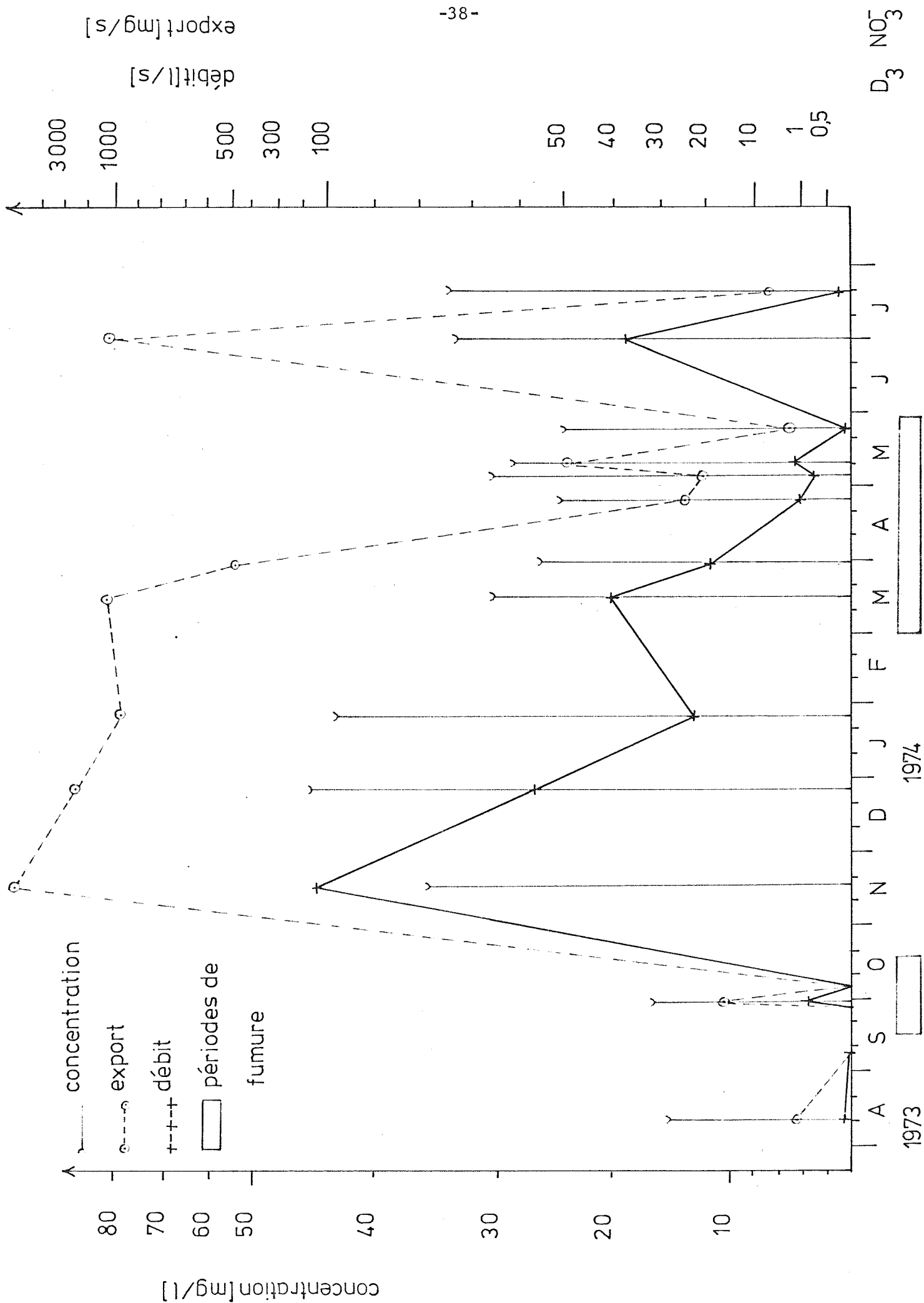


TABLEAU V - COLLECTEUR DE DRAINAGE BOTTES (D₃)

DATE	HEURE	TEMP. H ₂ O (°C)	DEBIT (l/s)	O ₂ CONC. (mg/l)	% DE SATURATION	PO ₄ ³⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)	NO ₃ ⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)
11. 8.73	9 ⁴⁵	14,0	0,1	8,05	81,3	0,7	0,07	15,0	1,50
8. 9.73	16 ³⁰	/	/	/	/	/	0,00	/	0,00
27. 9.73	17 ²⁰	/	/	/	/	/	0,00	/	0,00
29. 9.73	17 ¹⁰	9,0	1,0	8,5	75,2	0,6	0,60	16,4	16,40
6.10.73	14 ⁰⁵	/	/	/	/	/	0,00	/	0,00
17.11.73	13 ³⁵	8,0	144,0	11,0	97,3	0,4	57,60	35,5	5112,00
27.12.73	15 ⁰⁰	5,0	56,2	11,8	96,7	0,4	22,48	45,3	2546,00
26. 1.74	16 ⁴⁰	4,5	22,5	12,7	100,0	0,4	9,00	43,0	967,50
16. 3.74	16 ³⁰	4,5	40,5	12,3	99,5	0,5	20,25	30,0	1215,00
30. 3.74	14 ⁰⁵	11,2	18,5	11,8	100,0	1,0	18,50	26,0	481,00
25. 4.74	17 ³⁰	8,0	1,0	11,5	100,0	1,0	1,00	24,3	24,30
5. 5.74	12 ³⁰	10,0	0,7	10,7	99,1	0,4	0,28	30,0	21,00
11. 5.74	12 ⁰⁰	9,0	1,75	11,3	100,0	0,4	0,70	28,2	49,35
24. 5.74	12 ¹⁰	10,0	0,1	8,7	80,6	1,8	0,18	24,0	2,40
1. 7.74	11 ³⁵	13,0	37,5	9,25	91,6	1,4	52,50	33,0	1237,50
21. 7.74	15 ³⁰	15,5	30,2	9,50	100,0	0,3	0,06	33,6	6,72





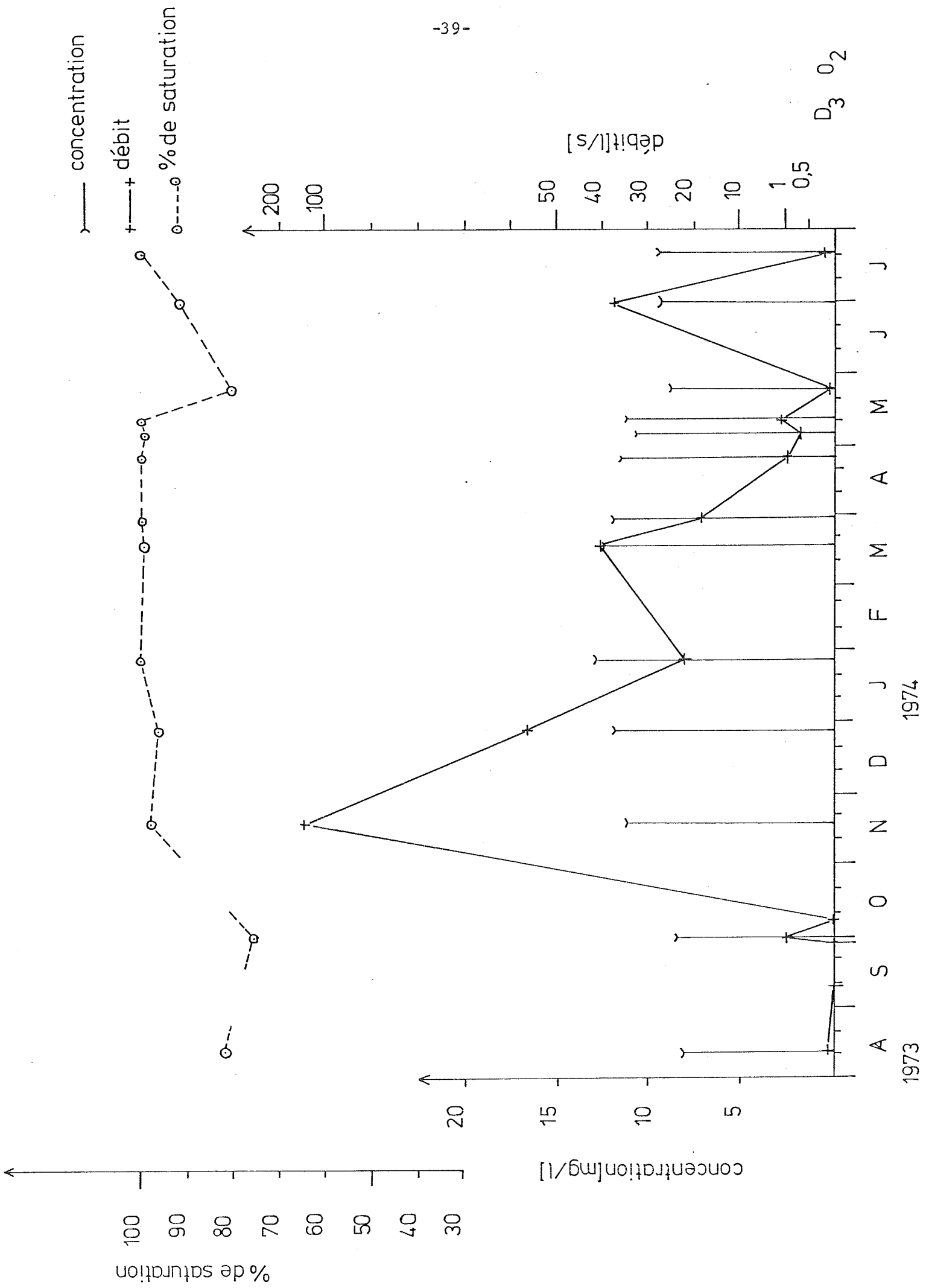
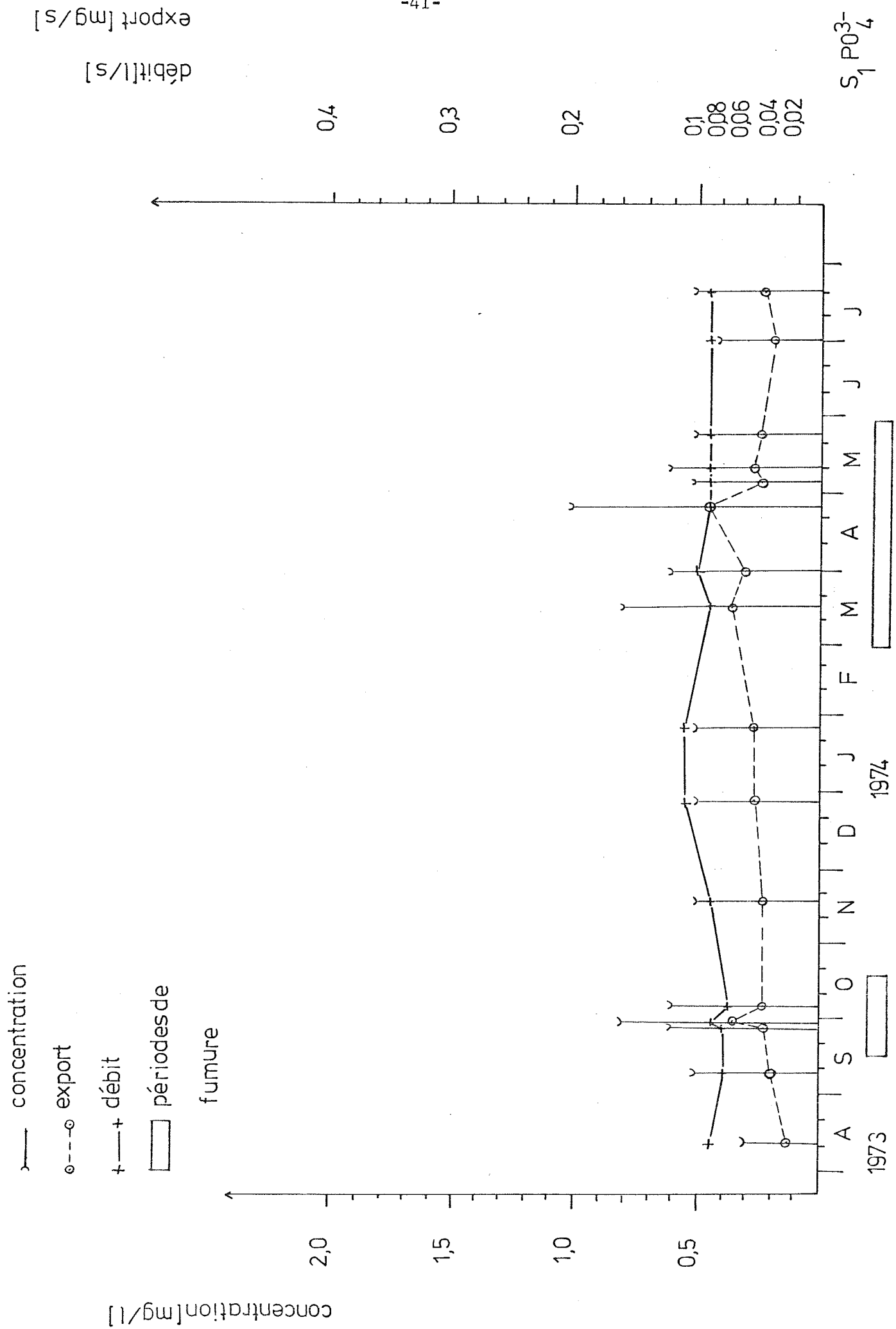
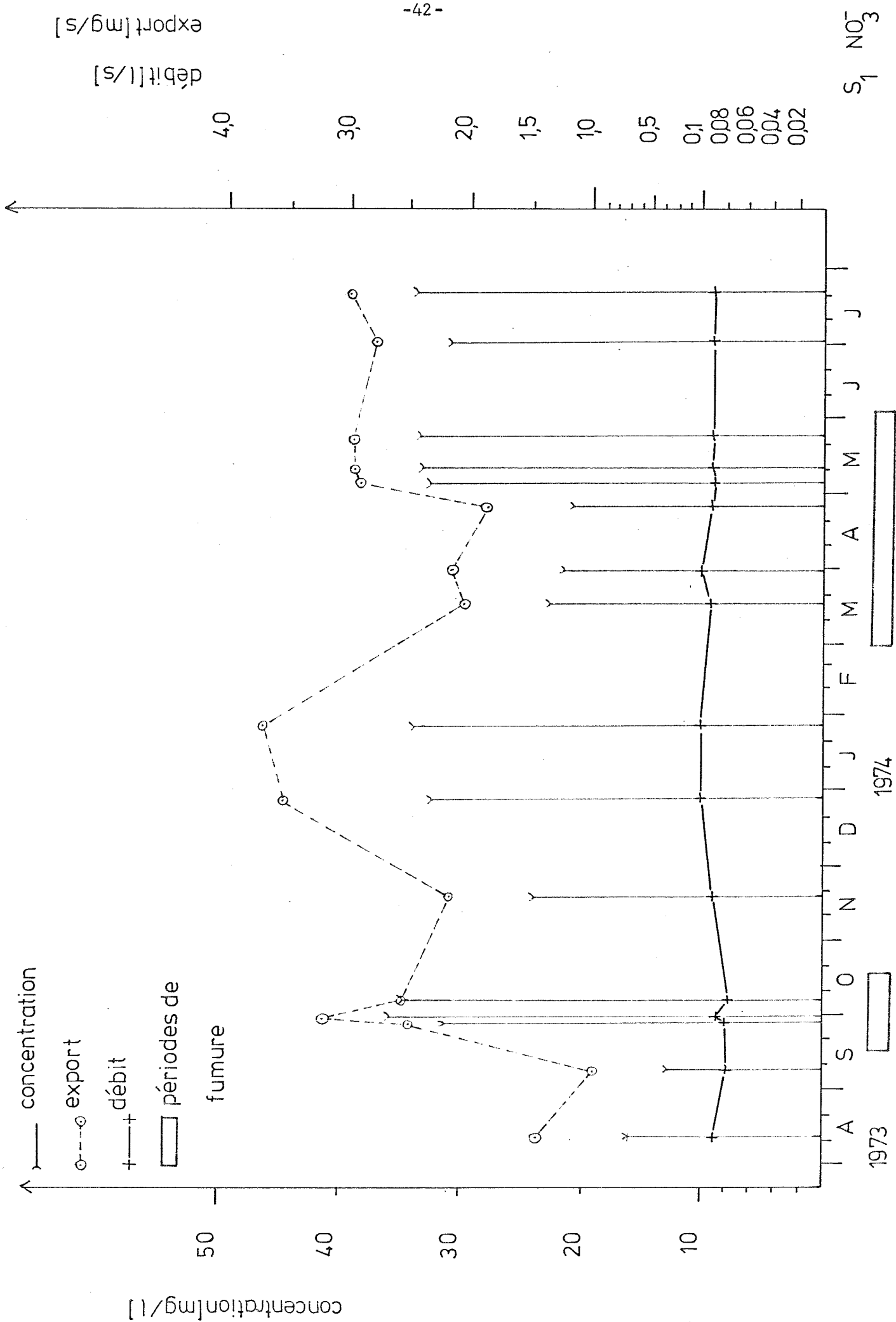


TABLEAU VI - SOURCE LE SORGEREUX (S₁)

DATE	HEURE	TEMP. H ₂ O (°C)	DEBIT (l/s)	O ₂ CONC. (mg/l)	% DE SATURATION	PO ₄ ³⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)	NO ₃ ⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)
11. 8.73	12 ⁰⁰	8,5	0,09	3,2	28,6	0,3	0,027	16,2	1,46
8. 9.73	16 ⁴⁰	8,0	0,08	3,3	29,2	0,5	0,040	12,6	1,01
27. 9.73	17 ³⁰	8,0	0,08	8,5	75,2	0,6	0,048	31,4	2,51
29. 9.73	17 ²⁰	8,0	0,09	8,75	77,4	0,8	0,072	36,0	3,24
6.10.73	16 ¹⁵	8,0	0,075	9,35	82,7	0,6	0,045	34,4	2,58
17.11.73	13 ²⁰	8,0	0,09	9,00	79,6	0,5	0,045	24,0	2,16
27.12.73	14 ²⁵	7,0	0,11	9,70	83,6	0,5	0,055	32,3	3,55
26. 1.74	15 ¹⁵	6,0	0,11	9,60	80,7	0,5	0,055	33,8	3,72
16. 3.74	16 ⁴⁰	6,0	0,09	9,10	76,5	0,8	0,072	22,9	2,06
30. 3.74	14 ²⁵	8,0	0,10	8,25	73,0	0,6	0,060	21,6	2,16
25. 4.74	17 ⁴⁵	8,0	0,09	9,10	80,5	1,0	0,090	20,8	1,87
5. 5.74	12 ⁴⁵	8,0	0,09	9,10	80,5	0,5	0,045	32,4	2,92
11. 5.74	12 ⁰⁰	9,0	0,09	8,95	80,6	0,6	0,054	33,0	2,97
24. 5.74	12 ³⁰	8,0	0,09	7,00	61,9	0,5	0,045	33,0	2,97
1. 7.74	11 ⁵⁰	9,0	0,09	8,65	77,9	0,4	0,036	30,9	2,78
21. 7.74	15 ⁴⁰	8,5	0,09	8,80	78,6	0,5	0,045	33,6	3,02





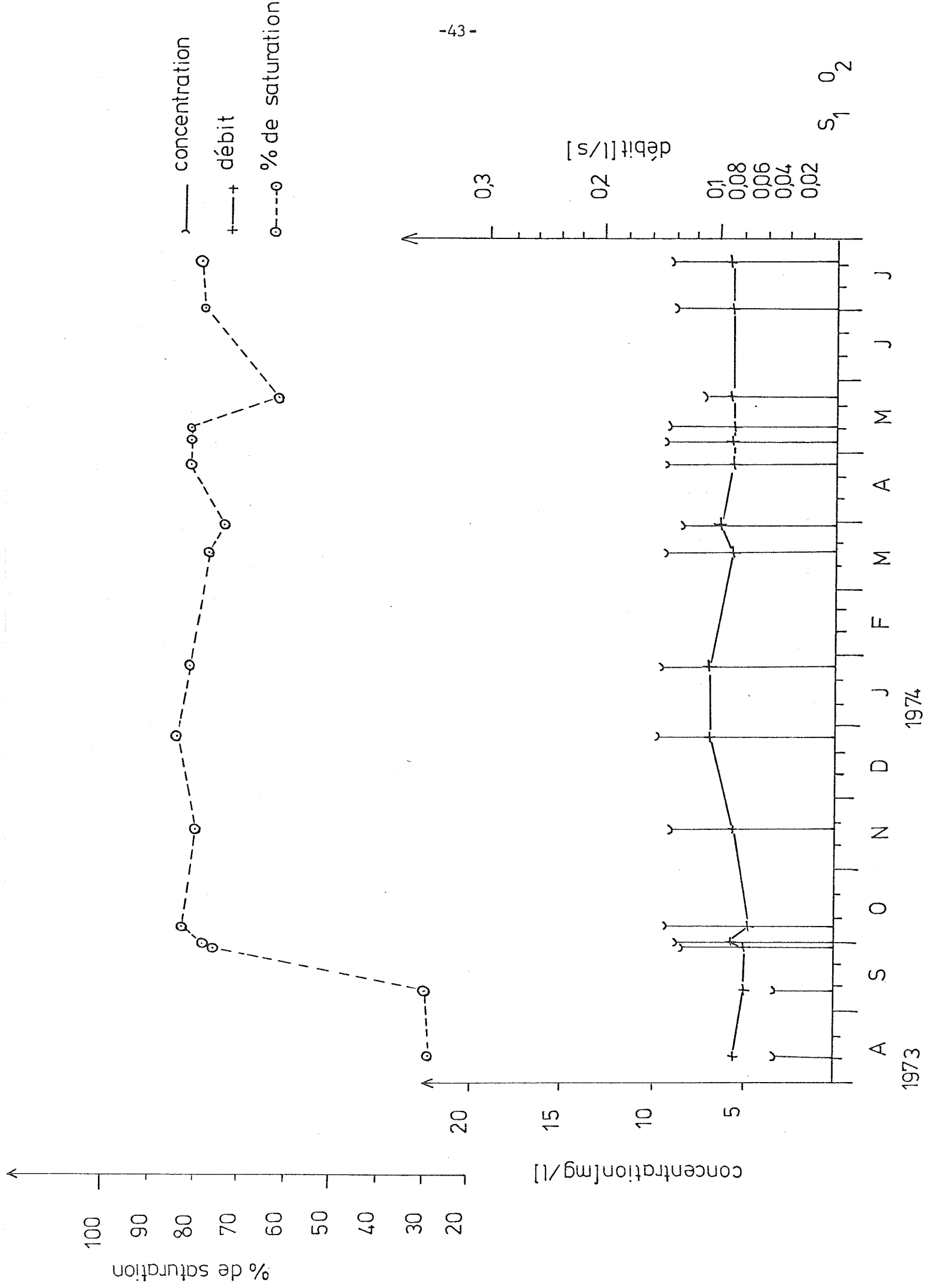


TABLEAU VII - SOURCE DU SEYON (S_2)

DATE	HEURE	TEMP. H_2O (°C)	DEBIT (l/s)	O_2		% DE SATURATION		PO_4^{3-}		NO_3^-	
				CONC. (mg/l)		TURATION		CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)	CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)
11. 8.73	10 ³⁰	8,0	1,30	3,70		32,7		0,4	0,52	3,0	3,90
8. 9.73	15 ¹⁰	7,0	1,33	7,72		66,6		0,5	0,67	2,8	3,72
27. 9.73	15 ⁴⁰	8,0	0,25	10,30		91,2		0,8	0,20	5,6	1,40
6.10.73	15 ³⁰	10,5	0,05	8,55		79,9		0,5	0,03	41,0	2,05
17.11.73	16 ¹⁵	8,0	0,40	10,20		90,3		0,7	0,28	19,5	7,80
27.12.73	16 ³⁰	7,0	20,00	11,10		95,7		0,3	6,00	8,0	160,00
26. 1.74	13 ¹⁵	7,0	35,00	8,80		75,9		0,4	14,00	7,7	269,50
16. 3.74	13 ³⁰	6,5	52,50	11,40		97,0		0,6	31,50	6,0	315,00
25. 4.74	16 ¹⁵	7,0	60,00	11,00		94,8		1,1	66,00	6,5	390,00
24. 5.74	10 ³⁰	8,0	12,80	11,10		98,2		1,0	12,80	8,0	102,40
1. 7.74	10 ⁰⁵	18,0	13,30	9,75		100,0		0,9	11,97	10,8	143,64

— concentration
 ○---○ export
 +---+ débit
 □ périodes de
 fumure

concentration [mg/l]

2,0

1,5

1,0

0,5

export [mg/s]

débit [l/s]

100

50

40

30

20

10

1

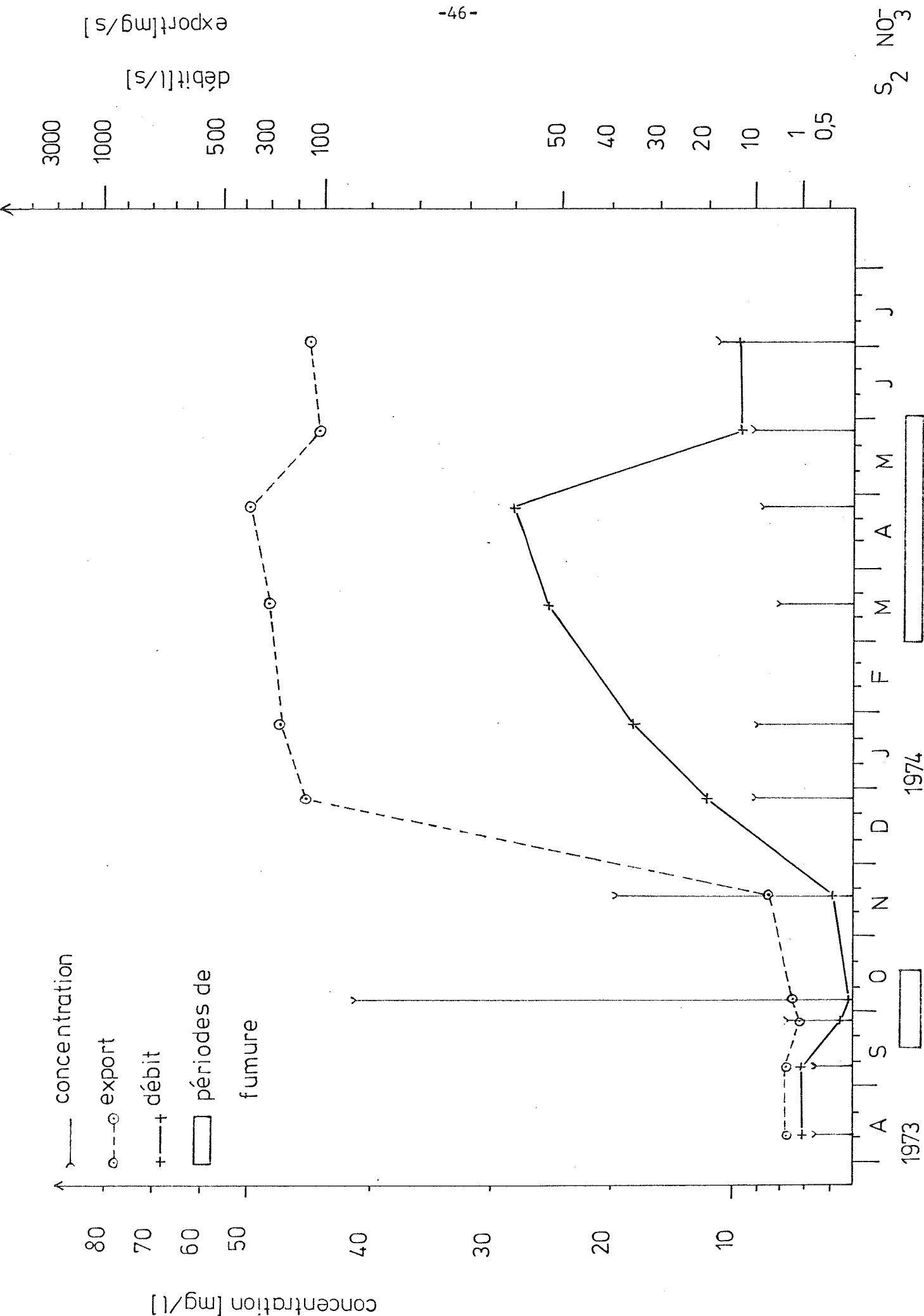
0,5

S_2 PO_4^{3-}

1973

1974

S_2 PO_4^{3-}



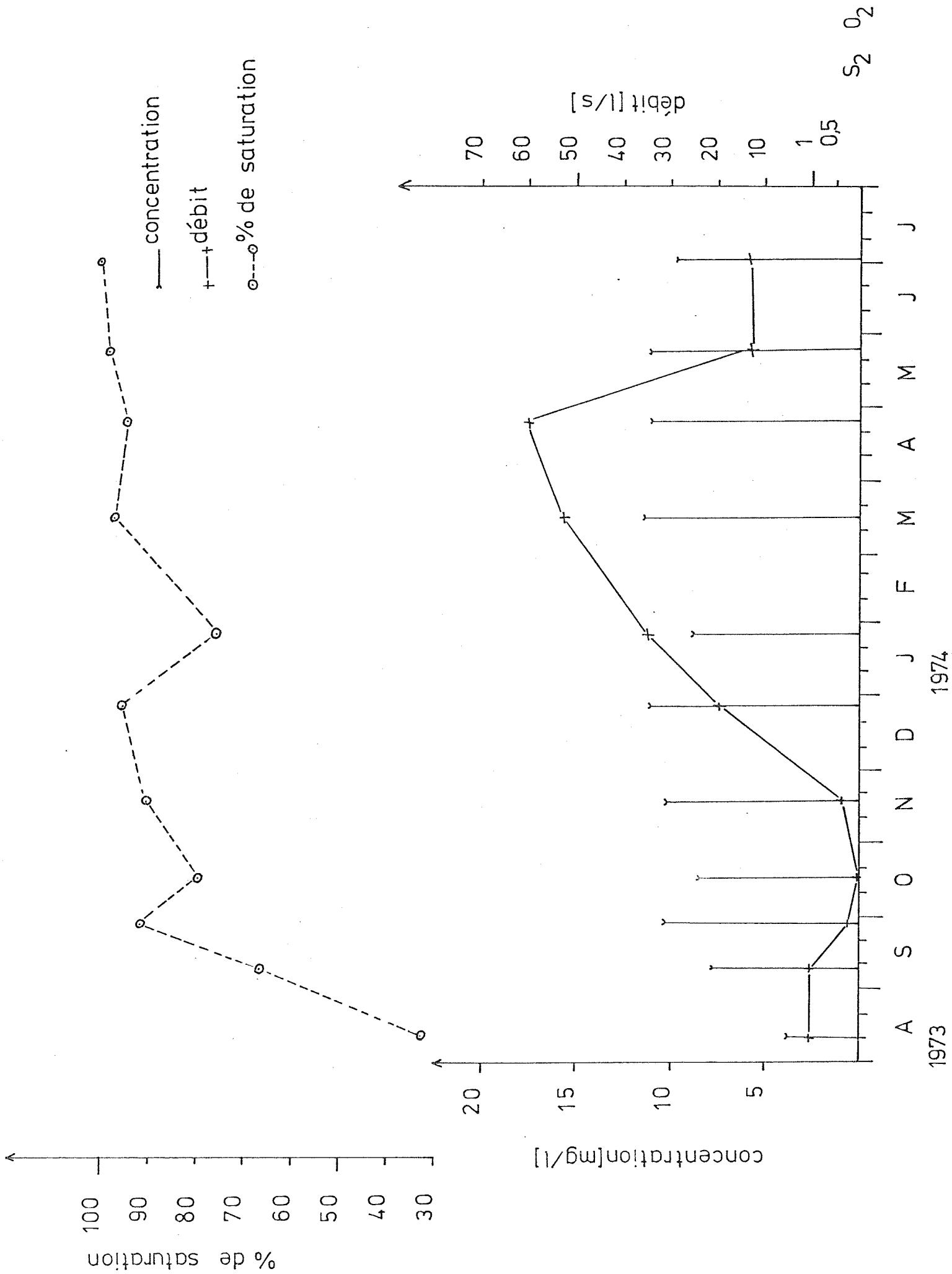
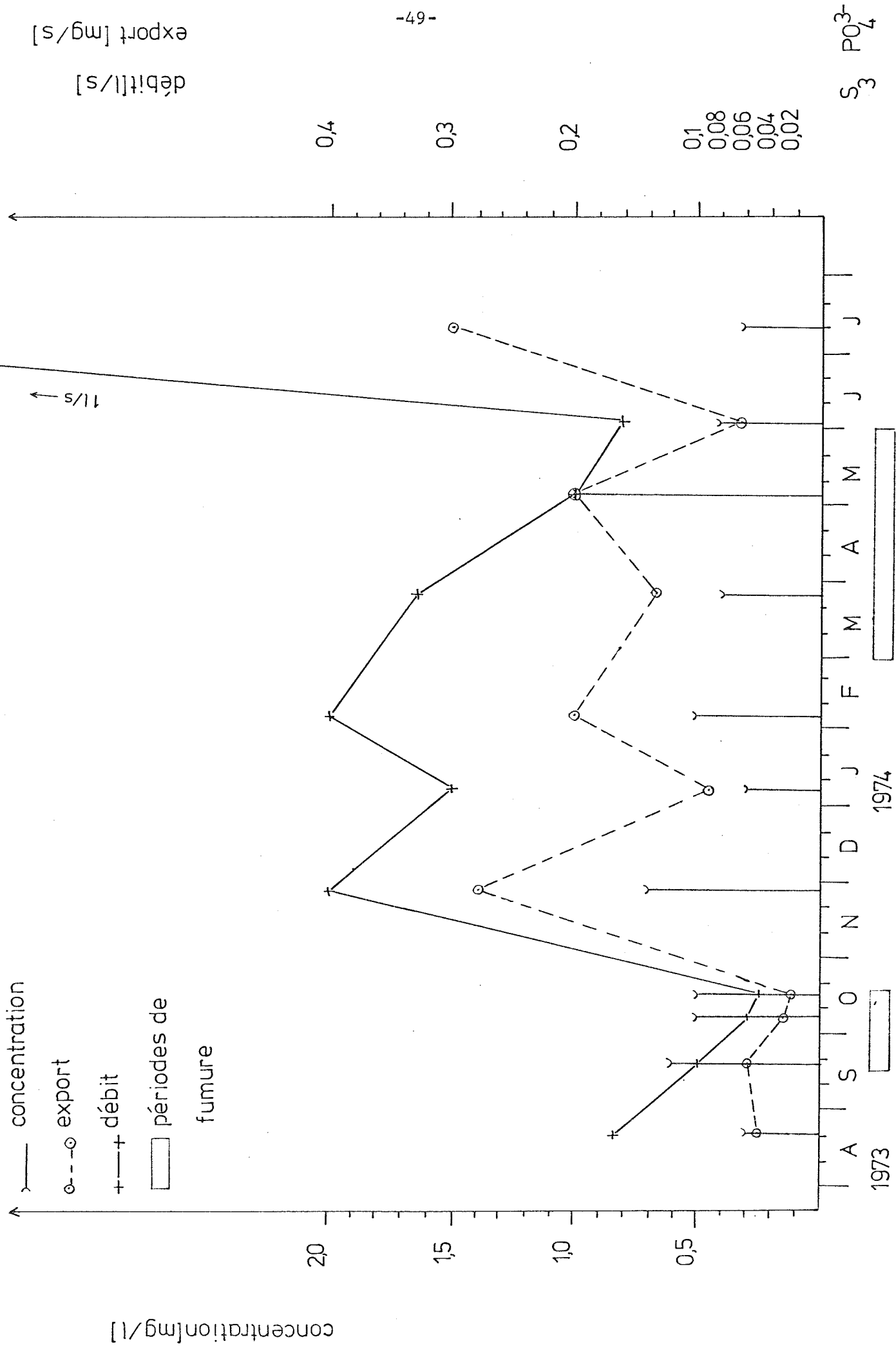
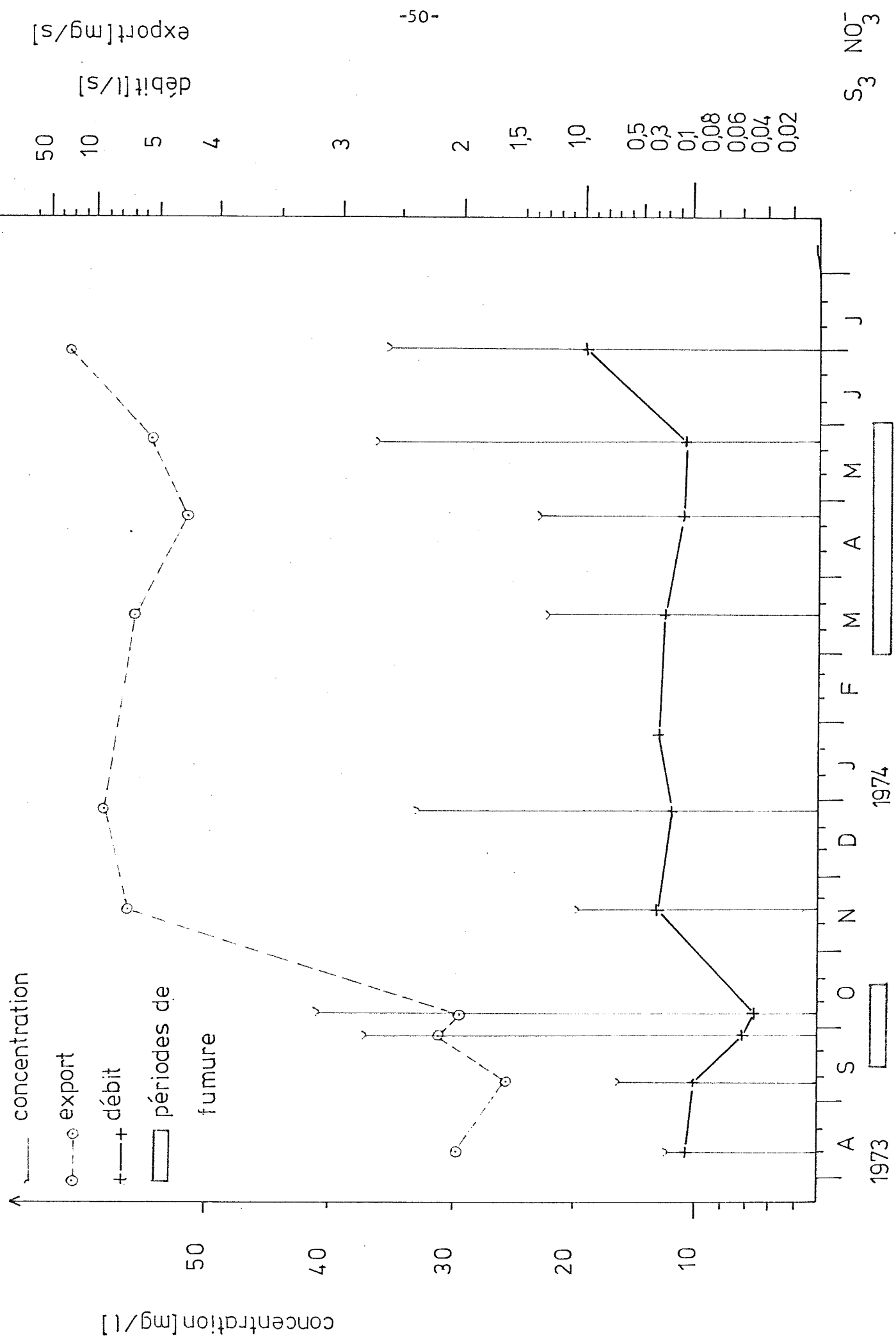


TABLEAU VIII - SOURCE FONTAINE DE VILLIERS (S₃)

DATE	HEURE	TEMP. H ₂ O (°C)	DEBIT (l/s)	O ₂ CONC. (mg/s)	% DE SATURATION	PO ₄ ³⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)	NO ₃ ⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)
11. 8.73	11 ⁰⁰	10,0	0,17	4,06	37,6	0,3	0,051	12,2	2,07
8. 9.73	15 ²⁵	12,0	0,10	6,00	58,3	0,6	0,060	16,2	1,62
27. 9.73	16 ⁰⁰	10,0	0,06	10,20	92,8	0,5	0,030	37,0	2,22
6.10.73	15 ³⁰	10,5	0,05	8,55	79,9	0,5	0,025	41,0	2,05
17.11.73	16 ¹⁵	8,0	0,40	10,20	90,3	0,7	0,280	19,5	7,80
27.12.73	16 ¹⁵	7,0	0,30	10,30	88,8	0,3	0,090	32,8	9,84
26. 1.74	13 ³⁰	7,0	0,40	10,70	92,2	0,5	0,200	/	/
16. 3.74	13 ⁴⁵	6,5	0,33	11,00	93,6	0,4	0,132	22,0	7,26
25. 4.74	16 ³⁰	7,5	0,20	10,40	90,8	1,0	0,200	22,8	4,56
24. 5.74	10 ⁴⁵	9,0	0,16	9,60	86,5	0,4	0,064	36,0	5,76
1. 7.74	10 ²⁵	9,5	1,00	9,50	86,7	0,3	0,300	35,1	35,10





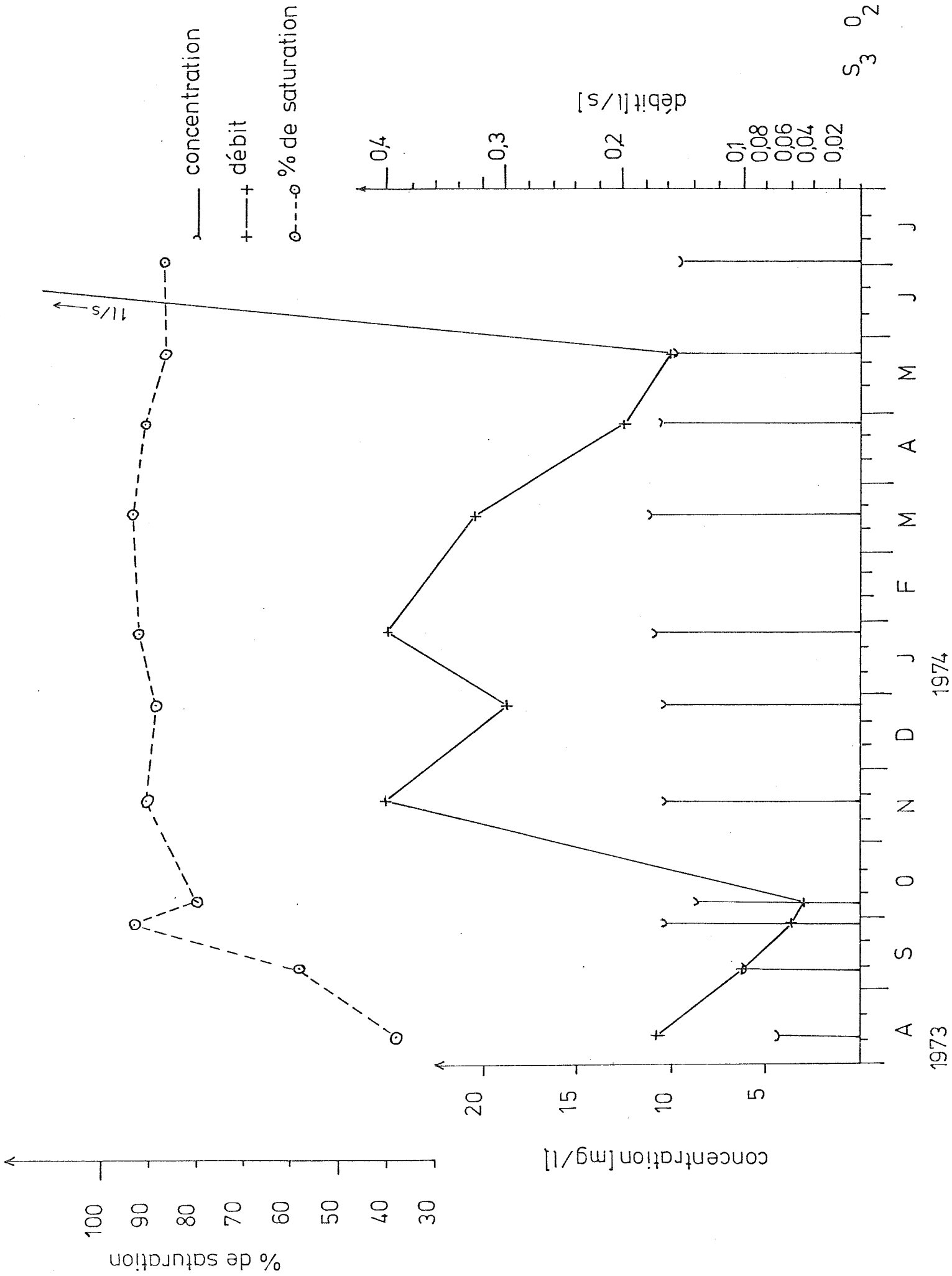
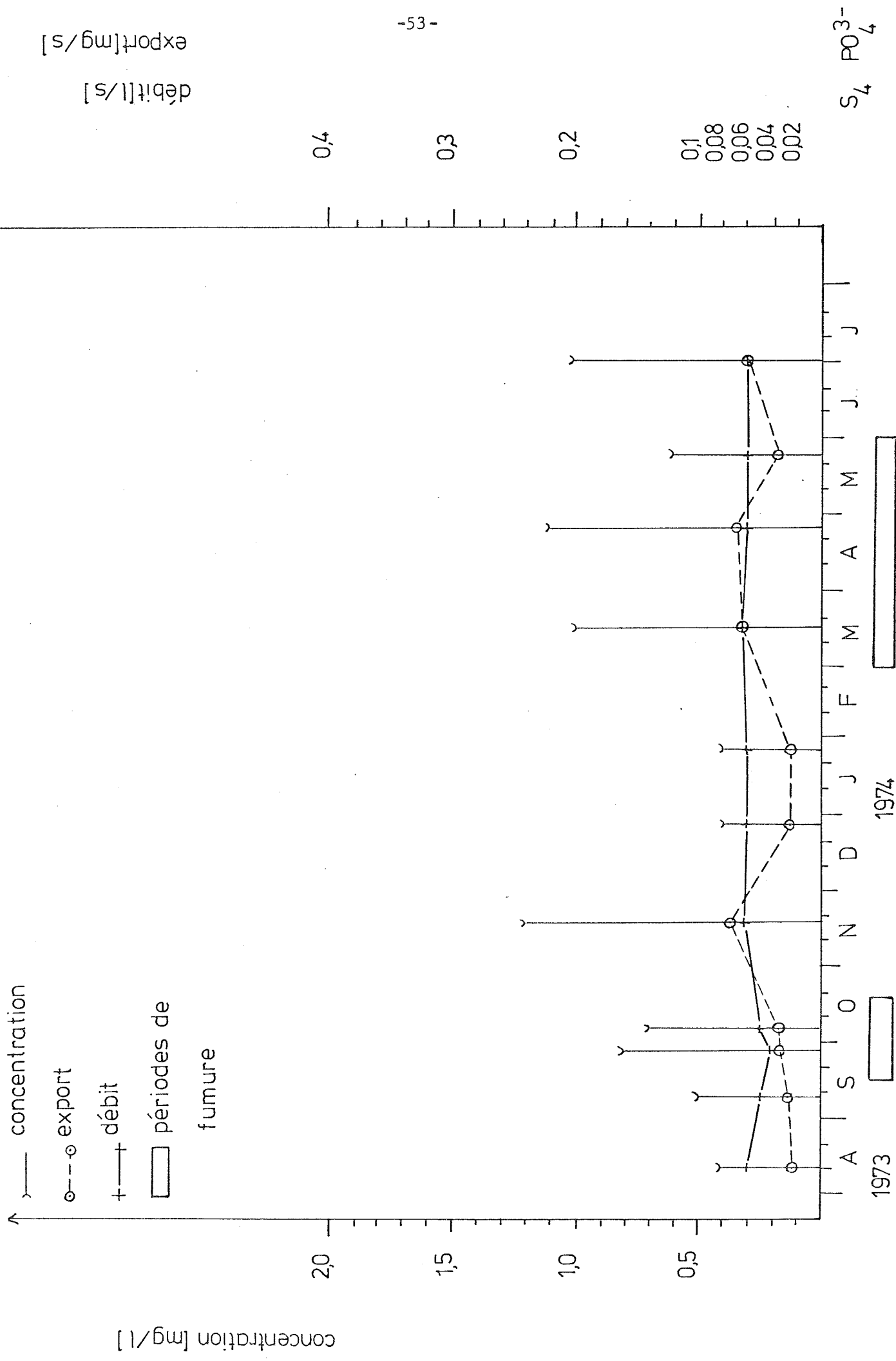
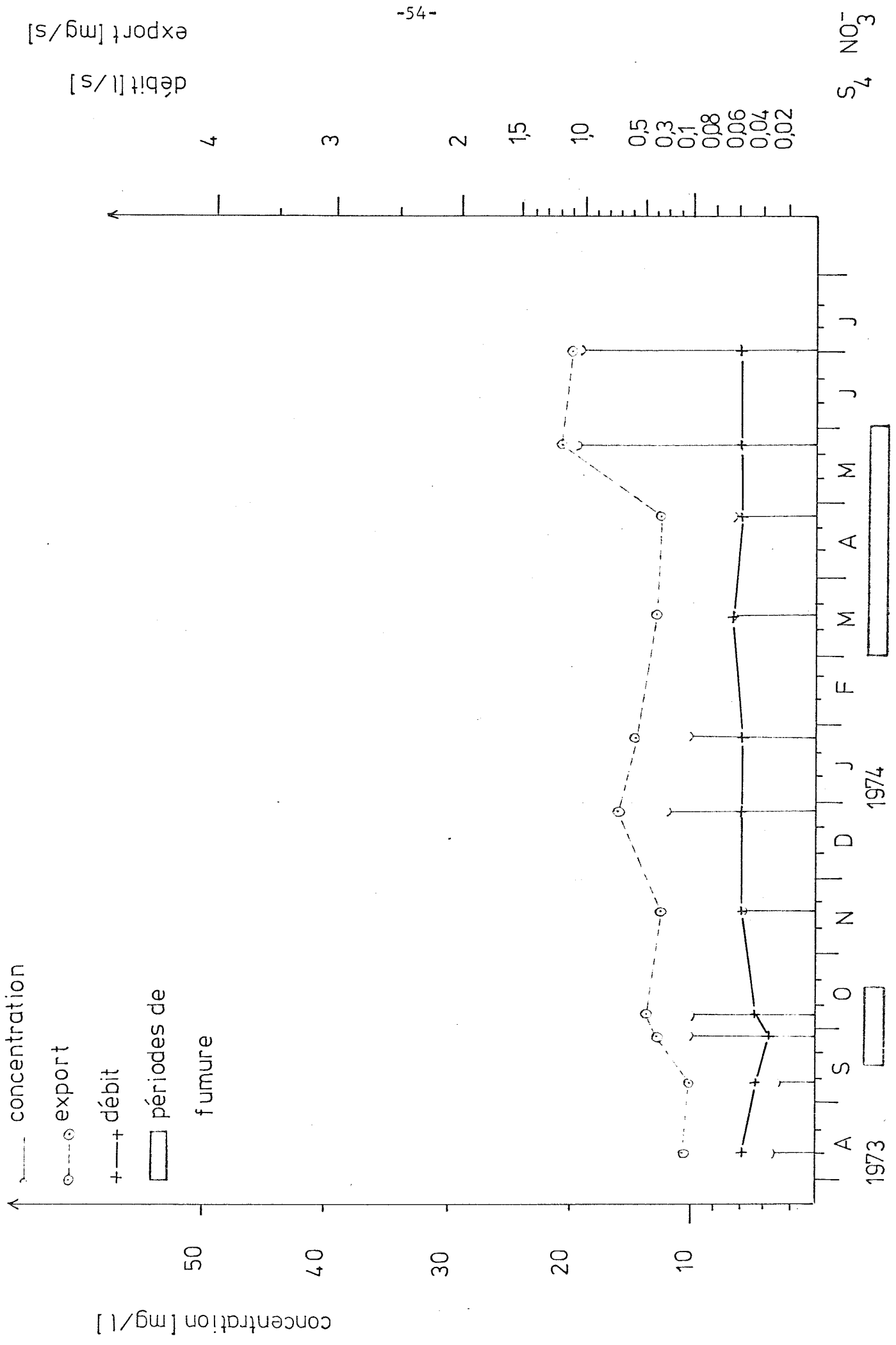


TABLEAU IX - SOURCE FONTAINE DE SAINT-MARTIN (S₄)

DATE	HEURE	TEMP. H ₂ O (°C)	DEBIT (l/s)	O ₂ CONC. (mg/l)	% DE SATURATION	PO ₄ ³⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/s)	NO ₃ ⁻ CONC. (mg/l)	EXPORT (mg/l)
11. 8.73	11 ³⁰	15,0	0,06	0,82	8,45	0,4	0,024	3,2	0,192
8. 9.73	13 ⁴⁰	12,5	0,05	0,54	5,29	0,5	0,025	2,8	0,140
27. 9.73	16 ⁰⁵	10,5	0,04	0,96	8,97	0,8	0,032	10,0	0,400
6.10.73	16 ¹⁰	10,5	0,05	1,79	16,73	0,7	0,035	10,0	0,500
17.11.73	16 ⁴⁵	9,0	0,06	2,30	20,72	1,2	0,072	6,0	0,360
27.12.73	15 ³⁵	8,0	0,06	2,90	25,66	0,4	0,024	12,0	0,720
26. 1.74	14 ⁰⁰	8,0	0,06	2,30	20,35	0,4	0,024	10,0	0,600
16. 3.74	13 ⁵⁵	7,0	0,065	3,10	26,72	1,0	0,065	6,0	0,390
25. 4.74	16 ⁴⁵	9,0	0,060	1,65	14,86	1,1	0,066	6,2	0,372
24. 5.74	10 ⁵⁵	10,0	0,06	1,23	11,39	0,6	0,036	19,2	1,152
1. 7.74	10 ³⁵	11,5	0,06	1,65	15,79	1,0	0,060	18,9	1,092





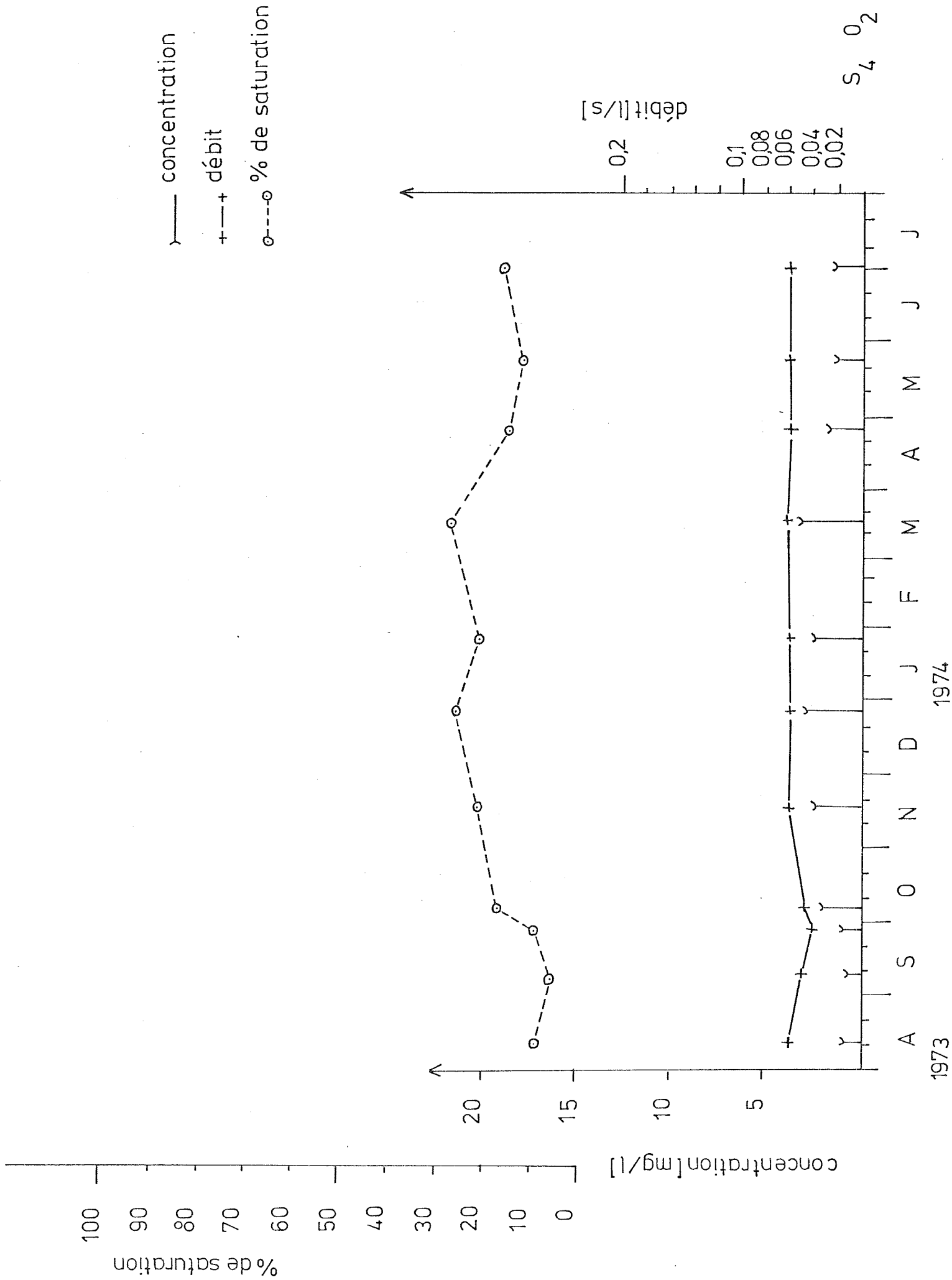
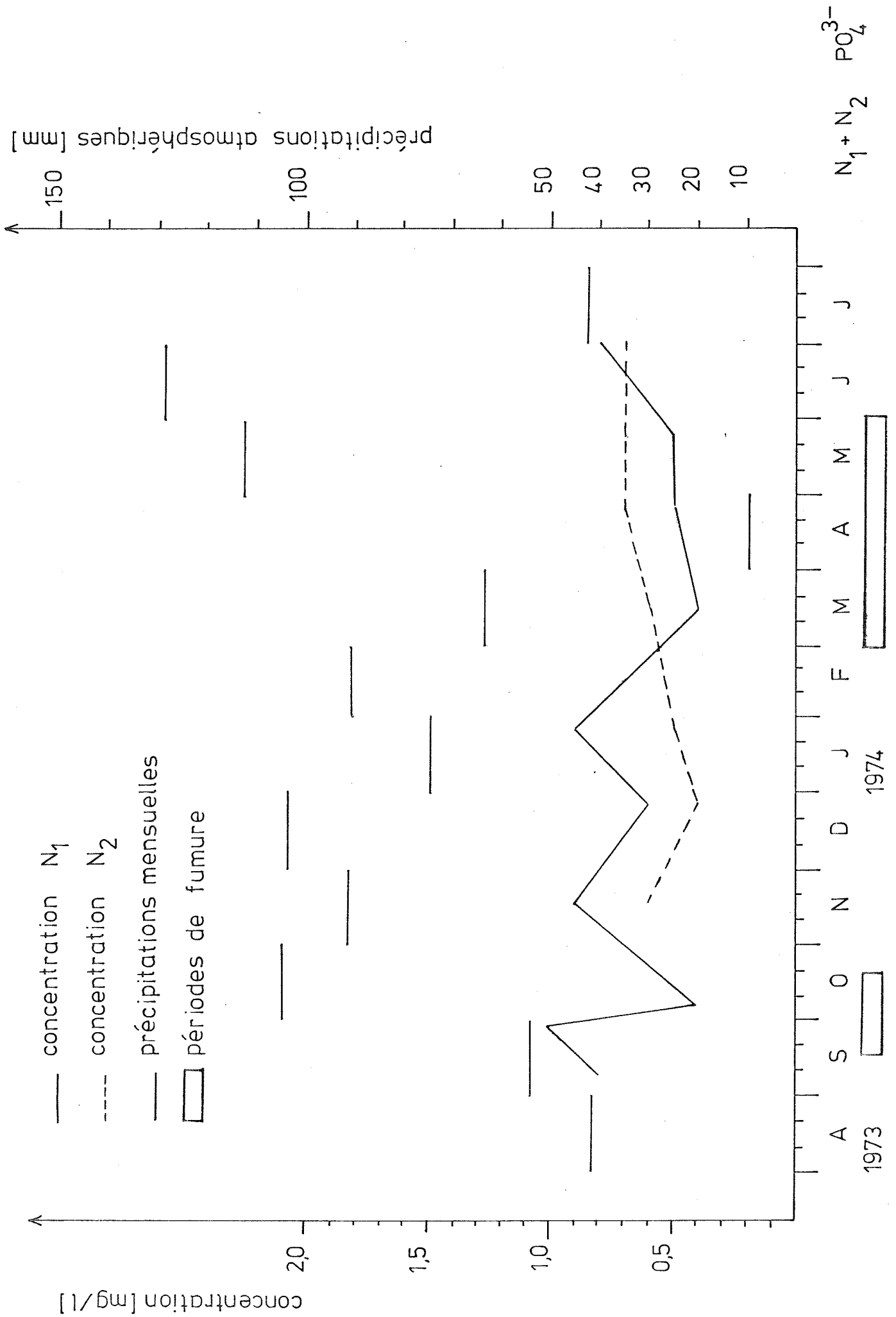


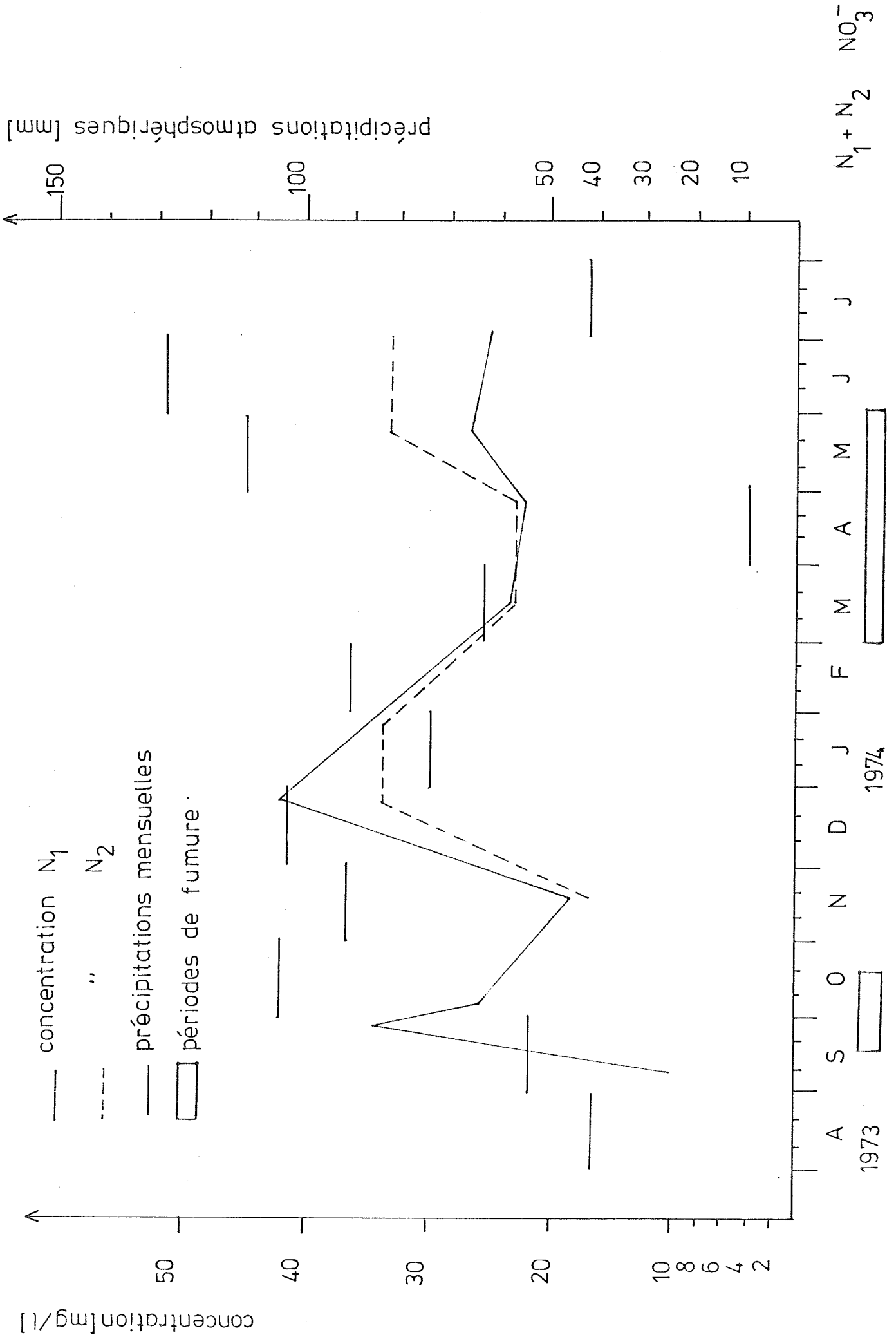
TABLEAU X - NAPPE DES PRES-ROYERS (N₁)

DATE	HEURE	CONC. PO_4^{3-} (mg/l)	CONC. NO_3^- (mg/l)
8. 9.73	13 ¹⁵	0,8	10,2
27. 9.73	16 ²⁰	1,0	34,4
6.10.73	13 ²⁵	0,4	25,6
17.11.73	15 ¹⁰	0,9	18,1
27.12.73	16 ⁴⁵	0,6	42,0
26. 1.74	15 ⁰⁰	0,9	34,4
16. 3.74	12 ²⁵	0,4	23,3
25. 4.74	17 ⁰⁰	0,5	22,0
24. 5.74	11 ⁰⁵	0,5	25,2
1. 7.74	10 ⁵⁰	0,8	24,9

TABLEAU XI - NAPPE DES PAULIERES (N₂)

DATE	HEURE	CONC. PO_4^{3-} (mg/l)	CONC. NO_3^- (mg/l)
17.11.73	15 ²⁰	0,6	16,9
27.12.73	14 ⁴⁰	0,4	33,6
26. 1.74	13 ⁴⁵	0,5	33,7
16. 3.74	16 ⁴⁰	0,6	22,9
25. 4.74	17 ⁴⁰	0,7	22,8
24. 5.74	11 ⁵⁵	0,7	33,0
1. 7.74	11 ²⁰	0,7	33,0





5 B I L A N S

Les principaux résultats des bilans sont relevés dans les tableaux XII et XIII, p.60 et 61. Nous indiquons ici la ligne de conduite qui nous a amené à ces résultats.

5.1 Export moyen mensuel total

Ce sont les moyennes pour chaque mois des valeurs d'export obtenues hebdomadairement au point V. Suivant les mois, ces moyennes ont été calculées à partir de 3 à 7 valeurs ponctuelles d'export. L'export moyen est exprimé en mg/s et en kg/mois. La valeur de l'export annuel résulte de l'addition des valeurs d'export moyen mensuel.

5.2 Export moyen mensuel de la population

Ces moyennes ont été estimées à partir des valeurs obtenues au point F, étendues à toute la population du bassin selon le détail ci-dessous.

	<u>Phosphore total</u> $(\text{PO}_4^{3-} - \text{P})$	<u>Nitrates-nitrites</u> $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N})$
Export moyen (moyenne des valeurs d'export du tableau I)	40 mg/s	15,60 mg/s
Export annuel	1261,44 kg/an	492,166 kg/an
Export annuel par habitant bénéficiant de la station de Fontaines (731 hab.)	1,7256 kg/an/hab	0,6732 kg/an/hab

TABLEAU XIII - BILAN DES PHOSPHATES

MOIS	EXPORT MOYEN MENSUEL TOTAL (mg/s)	EXPORT MOYEN MENSUEL DE LA POPULATION (kg/mois)	EXPORT MOYEN MENSUEL DE LESSIVAGE (kg/mois)	% DE LESSIVAGE POUR CHAQUE MOIS
Août 73	742,0	1469,2	518,2	2,52
Sept.	706,4	1469,2	361,8	1,77
Oct.	636,0	1469,2	234,2	1,14
Nov.	929,0	1469,2	938,8	4,58
Dec.	2531,0	1469,2	5309,8	25,92
Janv. 74	757,5	1469,2	559,7	2,73
Fev.	873,0	1469,2	642,8	3,13
Mars	1114,0	1469,2	1514,5	7,39
Avril	3605,0	1469,2	7875,0	38,44
Mai	1330,0	1469,2	2093,0	10,21
Juin	716,0	1469,2	386,7	1,88
Juil.	589,5	1469,2	49,7	0,24
Totaux:	38114,6 kg/an	17630,4 kg/an	20484,2 kg/an	

TABLEAU XIII - BILAN DES NITRATES

MOIS	EXPORT MOYEN MENSUEL TOTAL (mg/s)	EXPORT MOYEN MENSUEL (kg/mois)	EXPORT MOYEN MENSUEL DE LA POPULATION (kg/mois)	EXPORT MOYEN MENSUEL DE LESSIVAGE (kg/mois)	% DE LESSIVAGE POUR CHAQUE MOIS
Août 73	2002,7	5364,0	573,2	4790,8	1,35
Sept.	2726,5	7067,1	573,2	6493,9	1,83
Oct.	3592,6	9622,4	573,2	9049,2	2,55
Nov.	16490,5	42743,4	573,2	42170,2	11,87
Dec.	21123,3	56576,6	573,2	56003,4	15,76
Janv. 74	27059,5	72476,2	573,2	71903,0	20,24
Fév.	18054,0	43676,2	573,2	43103,0	12,13
Mars	12082,8	32362,6	573,2	31789,4	8,95
Avril	5970,0	15474,2	573,2	14901,0	4,19
Mai	12817,3	34329,9	573,2	33756,7	9,50
Juin	4308,0	11166,3	573,2	10593,1	2,98
Juil.	11686,5	31301,1	573,2	30727,9	8,65
Totaux:		362160 kg/an	6878,4 kg/an	355281,6 kg/an	

	<u>Phosphore total</u> $(\text{PO}_4^{3-} - \text{P})$	<u>Nitrates-nitrites</u> $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N})$
Extrapolation à la population totale du bassin (10217 hab).	17630,4 kg/an	6878,4 kg/an
Ce qui représente	1469,2 kg/mois	573,2 kg/mois

5.3 Export moyen mensuel de lessivage et % de lessivage

Ces valeurs ont été obtenues en prenant la différence entre l'export total et l'export de la population pour chaque mois. Les % de lessivage par mois ont été calculés par comparaison entre la valeur d'export de lessivage annuel et les douze valeurs d'export de lessivage mensuels.

5.4 Bilans intermédiaires

En comparant les différentes valeurs d'export annuel, leur importance relative est la suivante:

5.4.1 Phosphore total

Export annuel total	38114,6 kg/an = 100 %
Export annuel de la population	17630,4 kg/an = 46,2%
Export annuel de lessivage	20484,2 kg/an = 53,8%

5.4.2 Nitrates-nitrites

Export annuel total	362160 kg/an = 100 %
Export annuel de la population	6876,4 kg/an = 1,9%
Export annuel de lessivage	355281,6 kg/an = 98,1%

5.5 Export de lessivage-export naturel

La notion de lessivage quantifiée au paragraphe 5.3 représente le lessivage de sols forestiers ainsi que de sols agricoles. Une distinction entre les deux s'est avérée indispensable pour mieux cerner l'importance de l'agriculture dans l'enrichissement

des eaux en matières fertilisantes.

Pour cela nous avons comparé l'état de l'eau de la source du Seyon S2 à celle du collecteur de drainage Les Suwards D2. La source du Seyon a été choisie comme point de référence de l'export naturel provenant de sols forestiers, parce que la surface qu'elle draine est à 90 % boisée. Les sources S1, S3 et S4 n'ont pas retenu notre attention car leurs surfaces d'alimentation sont presque totalement déboisées.

D'autre part seule la source du Seyon a des débits comparables à ceux des collecteurs de drainage.

Les valeurs obtenues aux collecteurs de drainage D1 et D3 n'ont pas été utilisées pour les raisons suivantes:

le collecteur D1 ($25,1 \text{ l/s/km}^2$) reçoit de l'eau de la nappe des Prés-Royers, tandis que le collecteur D3 en perd une partie dans une nappe superficielle exploitée par la commune de Boudevilliers (*).

De ce fait seules les valeurs du collecteur D2 ($21,4 \text{ l/s/km}^2$) ont été utilisées, car il ne reçoit ni ne perd de l'eau.

En plus, pour les nitrates, une valeur moyenne de 1 mg/l pour l'eau de pluie a été comptée à part. Cette valeur a été soustraite à l'export total sans tenir compte de la part de nitrates qui se fixent dans le sol.

5.5.1 Phosphore total

1.	Export moyen à D2	=7,45 mg/s
2.	Surface drainée par D2	=49 ha
3.	Export moyen à S2	=12,1 mg/s
4.	Surface drainée par S2	=125,2 ha
5.(1,2)	Export moyen à D2 par unité de surface	=0,152 mg/s/ha
6.(3,4)	Export moyen à S2 par unité de surface	=0,097 mg/s/ha
7.(5,6)	Rapport entre les exports = $0,097/0,152$	=0,63

(*) Communication orale de B. Mathey

Ainsi 63 % du lessivage des phosphates serait naturel contre 37 % provenant des activités agricoles.

5.5.2 Nitrates-nitrites

1.	Concentration dans l'eau de pluie	=1 mg/l
2.	Précipitations annuelles = 876,1 mm	=8761000 l/ha/an
3.(1,2)	Apports annuels par ha	=8761000mg/ha/an
4.	Surface du bassin	=3500 ha
5.(3,4)	Apports de la pluie pour le bassin	=30663,5 kg/an
6.	Export total du bassin	=362160 kg/an
7.(5,6)	Rapport = 30663,5/362160 = 8,4 %	
8.	Export moyen à D2	=635,93 mg/s
9.	Surface drainée par D2	=49 ha
10.	Export moyen à S2	=126,4 mg/s
11.	Surface drainée à S2	=125,2 ha
12.(8,9)	Export moyen à D2 par unité de surface	=12,98 mg/s/ha
13.(10,11)	Export moyen à S2 par unité de surface	=1 mg/s/ha
14.	Export moyen à D2 sans l'apport de la pluie	=12,735 mg/s/ha
15.	Export moyen à S2 sans l'apport de la pluie	=0,755 mg/s/ha
16.(14,15)	Rapport = 0,755 / 12,735	=0,059

Donc 5,9 % de l'export de lessivage des nitrates serait naturel contre 94,1 % provenant des activités agricoles.

5.6 Bilans finaux

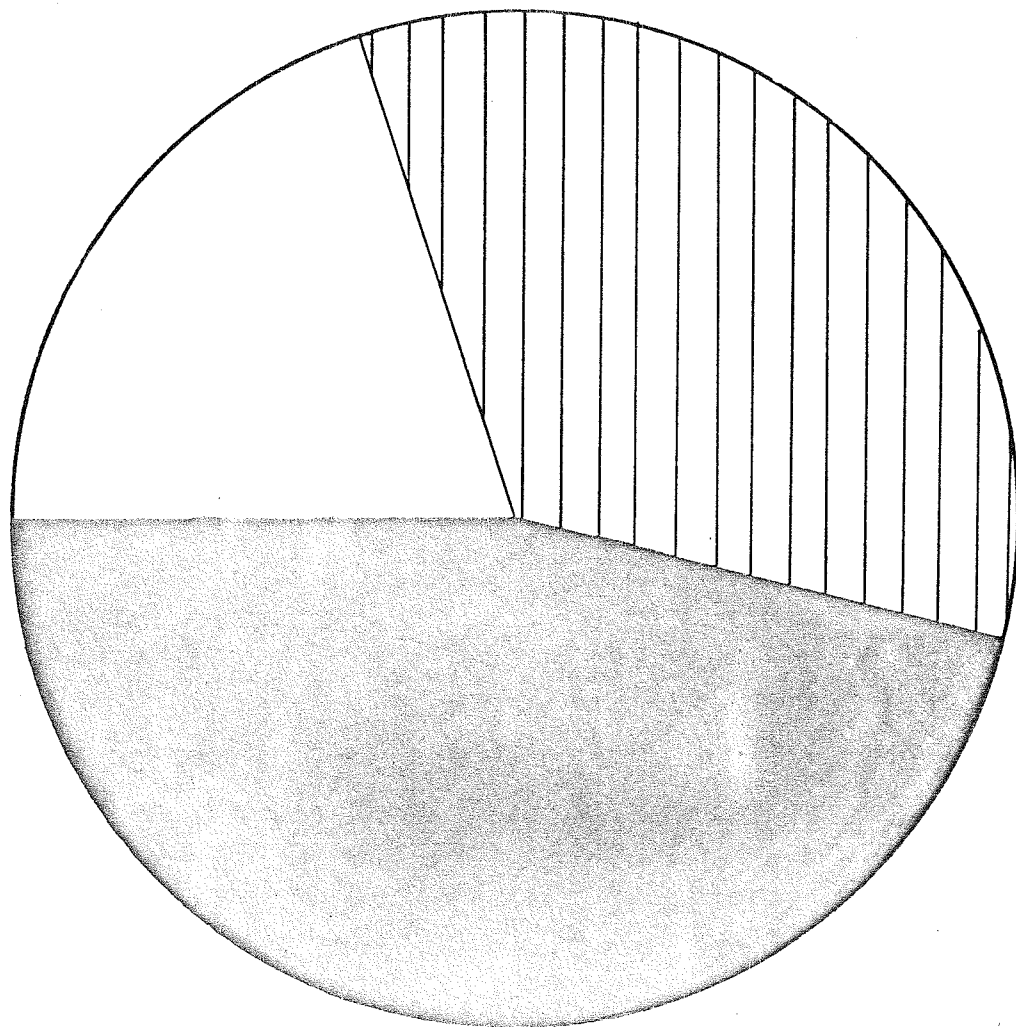
5.6.1 Phosphore total

Export de la population		<u>46,2</u> %
Export de lessivage	53,8 %	
dont: Export naturel	(53,8 . 0,63)	<u>33,8</u> %
Export agricole	(53,8 . 0,37)	<u>20,0</u> %

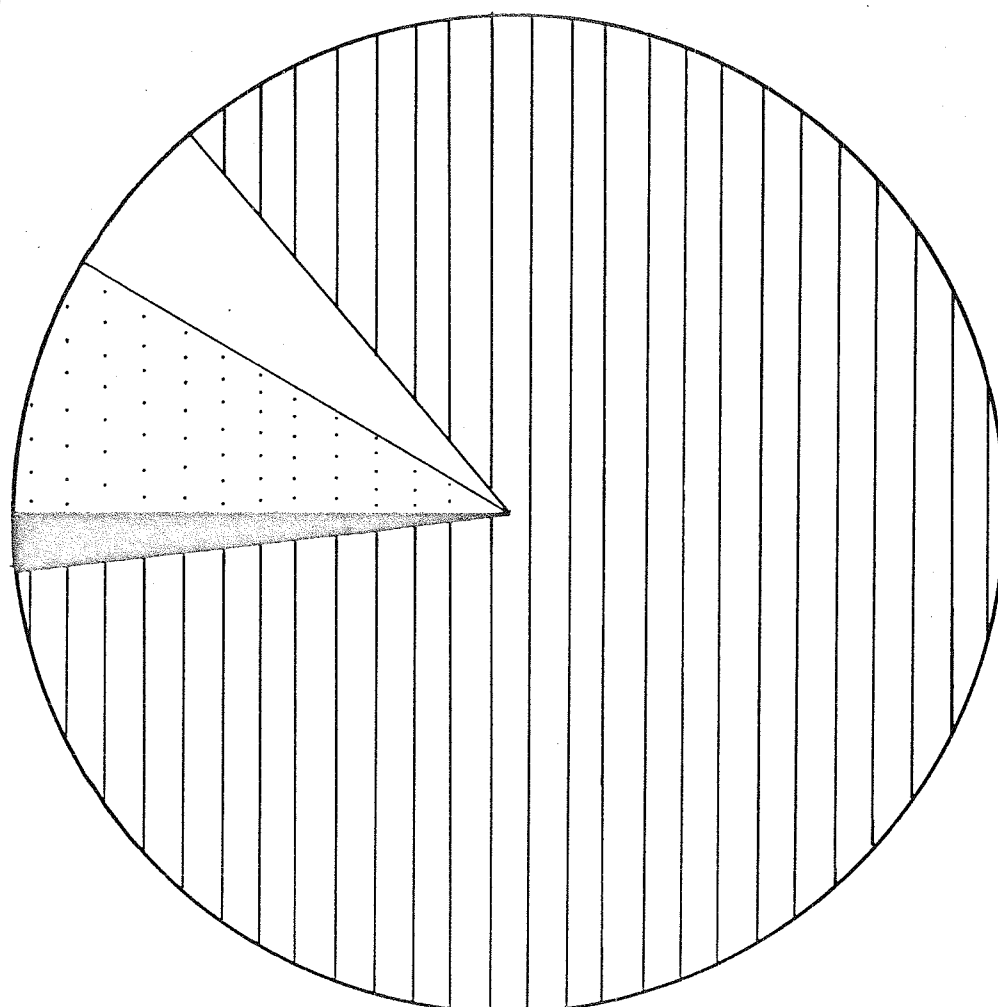
5.6.2 Nitrates-nitrites

Export de la population		<u>1,9</u> %
Apports de la pluie		<u>8,4</u> %
Export de lessivage	89,7 %	
dont: Export naturel	(89,7 . 0,059)	<u>5,3</u> %
Export agricole	(89,7 . 0,941)	<u>84,4</u> %

Exports en phosphates



Exports en nitrates



population

19 %



agriculture

84,4 %



naturel

5,3 %



pluie

8,4 %

6 DISCUSSION

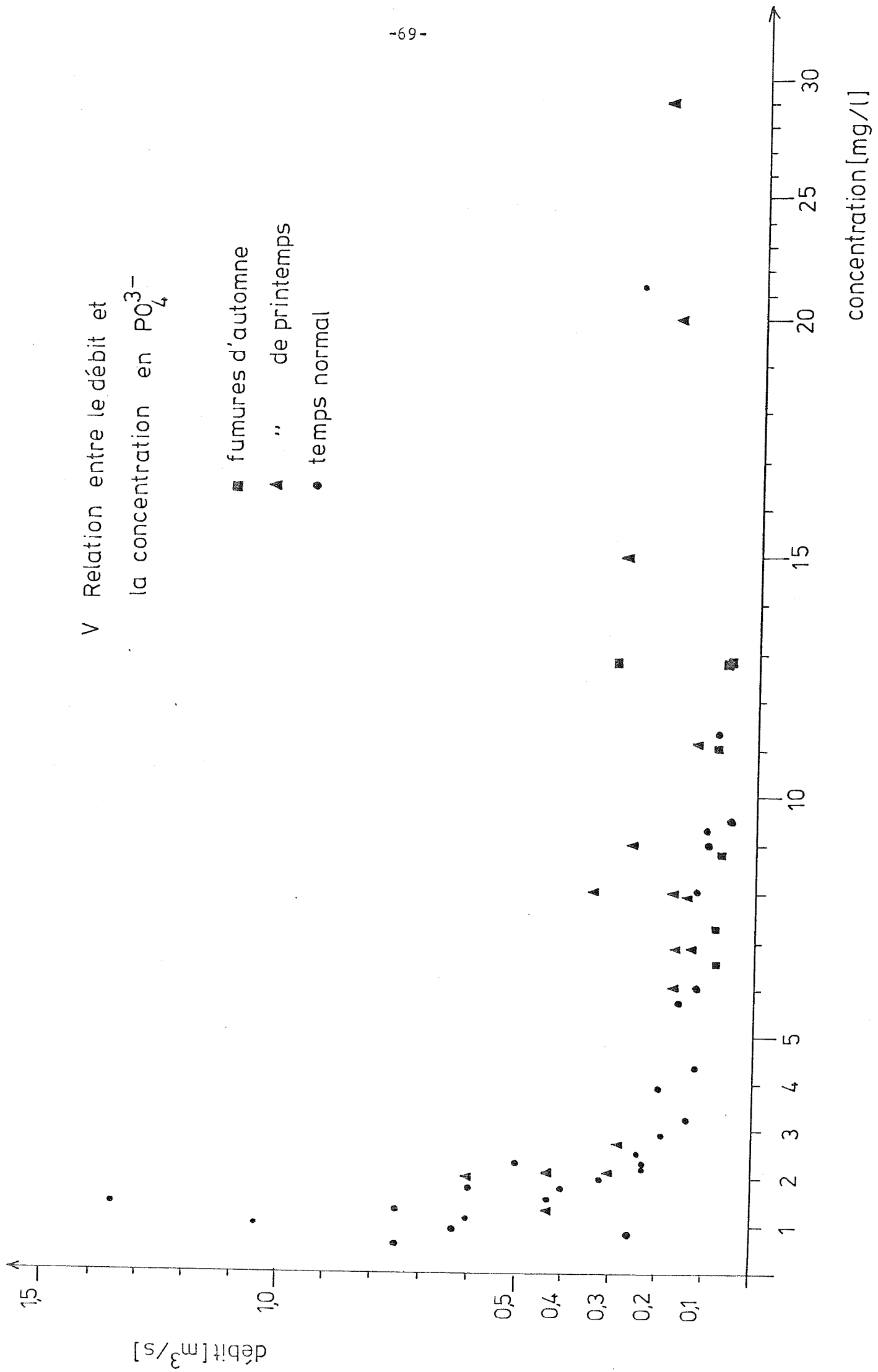
6.1 Phosphore total

Les variations d'export de phosphates à la STEP de Fontaines sont exprimées graphiquement à la p.20. On remarque que l'export a tendance à augmenter en fin de journée parallèlement à l'augmentation du débit dans la station.

L'élévation brusque du débit et de l'export le samedi 28.4.73 à 15 h. n'est pas due à une activité particulière de la population. Elle provient des fortes chutes de pluie, qui ont eut lieu au cours de cette journée. Un certain nombre de caniveaux des chaussées de la commune de Fontaines étant reliés à la STEP, cela a amené une grande quantité d'eau boueuse.

Cette augmentation de l'export nous montre, qu'une partie non négligeable de phosphore est entraînée dans les eaux fixée aux particules de terre. Ce phénomène a également été observé le 29.9.73 dans le Seyon et le 17.11.73 dans le Seyon ainsi que dans les collecteurs de drainage, lors de petites crues, où l'eau était particulièrement boueuse (p.25,26,29,33 et 37). Cela laisse une fois de plus entrevoir les effets néfastes de l'érosion sur les terres déboisées.

Le premier souci que nous avons eu en essayant d'interpréter les variations de concentration et d'export à Valangin (p.25 et 26), fut de voir si ces paramètres étaient liés à l'heure de prélèvement comme cela fut le cas à Fontaines. Une distribution des concentrations et des exports en fonction des heures de prélèvement s'est révélée être au hasard. Cela nous a permis de conclure, que les variations d'export observées à Valangin étaient dues à des variations de lessivage et non pas aux périodes d'activité



de la population.

En observant les variations de concentration, on constate tout d'abord, qu'elles sont généralement à l'inverse des variations de débit, aussi bien dans le Seyon que dans les collecteurs de drainage. Cela apparaît particulièrement sur le graphique de la p. 69, où la concentration a été confrontée au débit.

Nous remarquons que les valeurs obtenues lors des fumures d'automne sauf une, n'offrent aucune particularité. Cependant un certain nombre de valeurs provenant des fumures de printemps semblent indiquer, que pendant cette période, une variation de débit entraînerait une variation de concentration plus forte que d'habitude.

Nous remarquons que l'export à Valangin (p. 26) augmente également particulièrement pendant cette période là, avec des débits moyens mais constants. Il est à noter que les sources considérées (p. 41, 45, 49 et 53) présentent également des exports relativement hauts de mars à mai, ce qui n'est pas le cas pour les collecteurs de drainage (p. 29, 33 et 37). En cette période, la source du Seyon (p. 45) présente un débit maximal, avec une augmentation nette de la concentration et de l'export

D'octobre à décembre, les valeurs également importantes d'export semblent liées aux crues. L'influence des fumures d'automne a l'air de mieux se marquer à la source S1 (p. 41), où une légère augmentation du débit à fin septembre 73, provoque une grande augmentation de la concentration. A la source S3 (p. 49) nous obtenons le même phénomène, un peu décalé sur le mois de décembre 73.

En guise de résumé nous pouvons dire avec une certaine certitude, que les hautes valeurs d'export hivernales, 25 % du lessivage total au mois de décembre 73 (tableau XII), sont liées aux crues. La cause de l'augmentation du lessivage pendant les mois de mars à mai, ne semble pas forcément liée aux fumures, puisqu'elle apparaît également d'une manière très prononcée à la source du Seyon.

Les fumures d'automne, quant à elles, ne semblent pas influencer positivement l'export, d'autant plus qu'il tend à diminuer à Valangin, à la fin de la période de fumures.

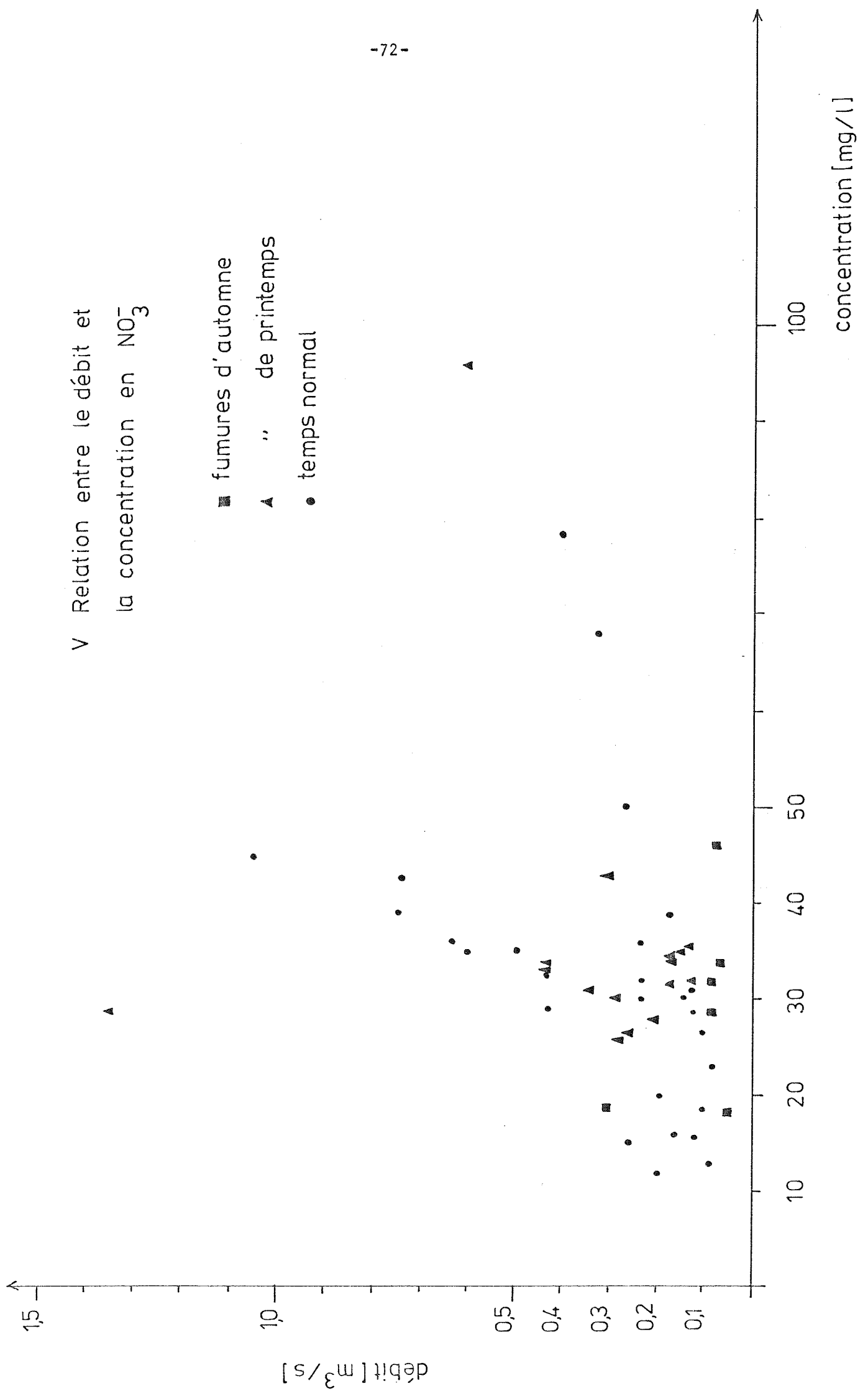
Si les périodes de fumures ne se marquent pas d'une manière évidente dans les variations d'export, au niveau quantitatif, le bilan nous montre que les sols agricoles relâchent presque deux fois plus de phosphore que les sols forestiers (CF. 5.5.1). Enfin nous remarquons par le bilan, que la population reste la source la plus importante de phosphore.

6.2 Nitrates-nitrites

L'interprétation des variations d'export de nitrates et de nitrites à la STEP de Fontaines (p.21) n'est pas aussi claire que pour les phosphates. Aucune ligne générale ne ressort des quatre jours choisis pour effectuer les prélèvements. L'export du dimanche 29.4.73 par rapport au samedi 28.4.73 paraît exagéré. Un fait étonnant est que la crue du samedi après-midi n'est pas marquée dans l'export, d'autant plus que beaucoup de terre était entraînée par le courant. En fait de telles séries d'analyses avaient été prévues originellement plusieurs fois dans l'année. Par manque de temps nous n'avons pas pu le faire et nous voyons ici qu'elles nous font cruellement défaut.

Dans le Seyon, à Valangin, aucune relation entre l'export et l'heure de prélèvement n'a été mise en évidence.

Inversément aux phosphates, la concentration en nitrates augmente dans tous les cas avec le débit. Cela n'a rien d'étonnant du fait que les nitrates se fixent mal dans les sols. Cette relation entre le débit et la concentration est exprimée graphiquement à la p.72. A part une valeur extrême provenant de s fumures printanières, ces périodes ne se distinguent pas des temps normaux. Trois valeurs hivernales sortent également de la distribution.



Quant à l'export, on remarque à tous les points de prélèvements, que ses maxima sont liés aux hautes eaux hivernales ainsi qu'aux crues printanières. Si les crues lessivent une grande quantité de nitrates pendant et à la suite des fumures de printemps, nous remarquons toutefois que la plus grande partie est lessivée au cours de l'hivers, lorsque toute activité biologique est stoppée. Les variations d'export à la source du Seyon (p.46), nous montrent que les sols forestiers n'échappent pas non plus au lessivage hivernal.

Le bilan semble très défavorable envers l'agriculture, qui à elle seule semblerait responsable de 85 % des exports en nitrates. Cette vision des choses est sans doute en partie erronée, par le fait que dans ce travail seuls les nitrates et les nitrites ont été envisagés. Par manque de connaissances en la matière, l'étude de l'ammoniac a été délaissée ce qui représente une grave lacune. En effet la plus grande partie de l'azote rejetée par la population l'est sous forme organique et sous forme ammoniacale. Il est probable qu'à la sortie de la station d'épuration, la majeure partie de ces composés ne sont pas encore oxydés. Cependant, jusqu'à la sortie du bassin à Valangin, ces composés ont largement le temps d'être oxydés. Par ce fait, dans le bilan, une certaine partie des nitrates recueillies à Valangin a été mise sur le compte de l'agriculture, alors que sa source est dans l'azote ammoniacal provenant des populations.

Malgré cela, le lessivage des terres agricoles reste important d'autant plus, que les terrains déboisés retiennent nettement moins bien l'azote nitrique que les terrains boisés. Cela se voit d'ailleurs très bien si l'on compare les exports des collecteurs de drainage (p.30,34 et 38) à celui de la source du Seyon (p.46), où les surfaces drainées sont du même ordre de grandeur.

6.3 Oxygène dissout

Un déficit d'oxygène dissout marque toute la période estivale.

Lors des crues ,la teneur en oxygène dissout baisse considérablement même l'hivers,car ces apports brusques d'eau nettoient les cours d'eau de grandes quantités de matières organiques en décomposition.Entre les crues,ces matières s'accumulent dans les endroits calmes des cours d'eau et se repèrent facilement par les odeurs nauséabondes qu'elles dégagent.

Il est possible que les hautes teneurs en azote nitrique observées en hivers proviennent de la bonne oxygénation des eaux. Cela resterait à prouver,notamment par la comparaison avec les variations de concentration et d'export en azote ammoniacal.

7 R E M E R C I E M E N T S

Nous tenons à remercier tout particulièrement:

M. André Burger, professeur d'hydrogéologie et directeur de l'Institut de Géologie de l'Université, qui nous a toujours guidé dans ce travail, tant pour des raisons pratiques que théoriques, ainsi que son assistant M. Bernard Mathey, qui plus d'une fois est venu avec nous sur le terrain et qui nous a aidé dans plusieurs problèmes d'hydrogéologie.

M. André Jacot-Guillarmod responsable des premiers entousiasmes qui nous ont décidés à entreprendre ce travail et qui nous a fourni les produits chimiques indispensables aux analyses.

MM. Roland Stettler et Jean-Jacques Miserez dont les remarques pertinentes en chimie des eaux nous ont été d'un grand secours.

M. Jean-Pierre Rossel et le Service des eaux de l'Etat pour les soins qu'ils ont pris à l'installation du limnigraphe.

M. Léon Straub qui nous a toujours fourni notre moyen de locomotion.

MM. Ferdinand Spichiger, Nicolas Koszfics et Paul-Henri Fellrath, membres honoraires de notre club, pour le soutien et l'intérêt qu'ils ont manifesté à notre travail.

M. J. S. S. S.

8 BIBLIOGRAPHIE

- Atlas géologique de la Suisse 1:25000.Val de Ruz.Flle.1144
et notice explicative de E.Lüthi.
- Carte nationale de la Suisse 1:25000.Val de Ruz.Flle.1144
- Carte nationale de la Suisse 1:50000.Vallon de St.Imier.Flle.232
- Carte hydrogéologique du canton de Neuchâtel 1:50000 et
notice explicative de L.Kiraly.Bull.Soc.neuch.sci.nat.,96,1973
- Dp.fédéral de l'Intérieur.(1969).Maintient de la salubrité des eaux,
Berne.
- (1974).Wegleitung zu einer Umweltgerechten Anwendung von
Düngemitteln,Berne.
- Frey E.(1925).Zur Geologie des süd-östlichen neuenburger Jura.
Beitr.zur geol.Karte der Schweiz,55.
- Gächter R. und Furrer O.J.(1972).Der Beitrag der Landwirtschaft zur
Eutrophierung der Gewässer in der Schweiz.Schw.Zeit.Hydrol.,34.
- Gburek W.J and Heald W.R.(1974).Soluble Phosphate Output of an
Agricultural Watershed in Pennsylvania.Water Res.Research,10.
- Gymnase français de Bienne.(1971).Notre environnement.Contribution
à l'étude de la pollution de l'air et de l'eau dans la
région biennoise.
- Kunishi H.M and all.(1972).Phosphate Movement from an Agricultural
Watershed during two Rainfall Periods.J.Agr.Food.Chem.,23(4).
- Mathey B. et Simeoni G. (1972).Etude de la vitesse de circulation
de l'eau dans un aquifère calcaire par essais de traçage.
Bassin de la Serrière/NE.Bull.Soc.neuch.sci.nat.,95.
- (1973).Systèmes d'écoulement et hydrochimie dans un
aquifère morainique.Bull.Soc.neuch.sci.nat.,96.
- Rodier J.(1966).L'analyse physicochimique de l'eau.Eaux naturelles
et eaux usées,3^e édition.Dunod,Paris.
- Schweizerische Zentralanstalt für Meteorologie.Ergebnisse der
täglichen Niederschlagsmessungen,1969,1973 et 1974.
- Taylor A.W et Kunishi H.M.Phosphate Equilibria on Stream
Sediment and Soil in a Watershed Draining an Agricultural
Region,J.Agr.Food.Chem.,19, (5) ,1971.
- Taylor A.W. and Edward W.R and Simpson E.C (1971).Nutrients in Stream
draining Woodland and Farmland near Coshocton.Water.Res.Resea.,