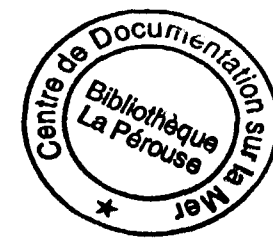


N040-DUR-B

181849  
193189  
**INRA**

**CENTRE DE RENNES**  
Unité de Recherche  
de Sciences du Sol et Bioclimatologie  
65, rue de St Briec  
F-35042 RENNES cedex FRANCE



Octobre 1997

# CONTRAT DE PLAN ETAT-REGION BRETAGNE

1994 - 1998

**Programme:**

## " BASSINS VERSANTS ET TRANSMISSION DES POLLUTION AU LITTORAL "

### RAPPORT D'AVANCEMENT 1997

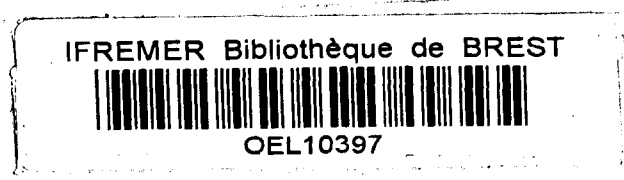
Rapport sur la participation de l'INRA dans le cadre de la convention particulière n°1 à la Convention générale n° 96/2 210 884/YC entre l'IFREMER et l'INRA

Responsables:

Patrick Durand  
Philippe Mérot

Rédaction:

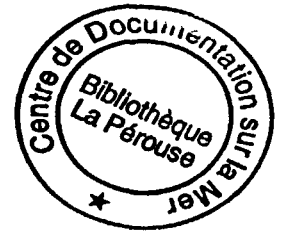
Patrick Durand  
Jean Bidois



Collaboration technique:

François Rouault  
Annick Régeard  
Laurence Carteaux  
Nathalie Bou

# SOMMAIRE



## 1. INTRODUCTION

## 2. LE SITE DE KERVELDREAC'H

2.1 Situation, caractéristiques générales.

2.2 Aménagements réalisés.

2.3 Dispositifs et méthodes de mesure.

2.4 Premiers résultats.

## 3. MODELISATION DU TRANSFERT DE NITRATE DANS LE KERHARO

3.1 Description du modèle

3.2 Tests sur le bassin de Kervidy (Naizin)

3.3 Première application sur le Kerharo

## 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.

*J*

# 1. INTRODUCTION

Dans le cadre du programme "Bassins-versants et transmission des pollutions au littoral", L'U.R. de Sciences du Sol et Bioclimatologie de l'INRA de Rennes participe à l'étude de la pollution azotée sur le bassin-versant du Kerharo, dans la Baie de Douarnenez. Cette participation consiste essentiellement à mesurer et modéliser les flux de nitrates en amont du marais de Kervijen, à l'exutoire du bassin-versant, et à étudier l'effet épuratoire de l'aménagement d'une zone humide à Kerveldreac'h, en amont du bassin-versant. Ce dernier point fait également partie de l'opération "Utiliser les zones humides pour contrôler la pollution azotée" du volet recherche de BEP II.

Durant l'année 1997, les débits et les concentrations en nitrate et phosphore (soluble et total) ont été mesurés à l'exutoire du bassin-versant, et un modèle de transfert de nitrate a été développé. D'autre part, le site de Kerveldreac'h a été aménagé et son suivi a débuté. Il faut toutefois noter que, pour les deux volets de l'étude, le caractère exceptionnellement déficitaire en eau de l'hiver 96-97 oblige à beaucoup de prudence dans l'interprétation des résultats.

## 2. LE SITE DE KERVELDREAC'H

### 2.1 Situation, caractéristiques générales.

Le site aménagé est un bosquet d'environ 400 m<sup>2</sup> situé directement en aval de l'exutoire de deux collecteurs de drain d'une parcelle d'environ 1 ha (Fig. 1). Le substrat est du schiste briovérien. Les sols sont peu profonds, caillouteux, reposant sur une altérite de schiste très compacte. Ce bosquet ne présente pas de trace d'utilisation agricole passée, et est constitué d'un mélange de chênes, de frênes et d'aulnes.

### 2.2 Aménagements réalisés.

Les eaux provenant du collecteur de drain ont été dérivées dans la zone par creusement de deux fossés borgnes sur une profondeur de 30 cm et sur une longueur de 10 m rive gauche et 6 m rive droite (Fig. 2 et 3). L'ancienne voie de circulation de l'eau a été obstruée par un barrage de planches. Ces travaux ont été réalisés à l'automne 1996, pour un coût nul (terrassment manuel par nos soins).

### 2.3 Dispositifs et méthodes de mesure.

Des dispositifs de prélèvements d'eau (piézomètres et pièges à eau du sol, à compléter cet automne) ont été installés. Les débits amont et aval sont mesurés par la méthode de dilution au sel, ou par empotement.

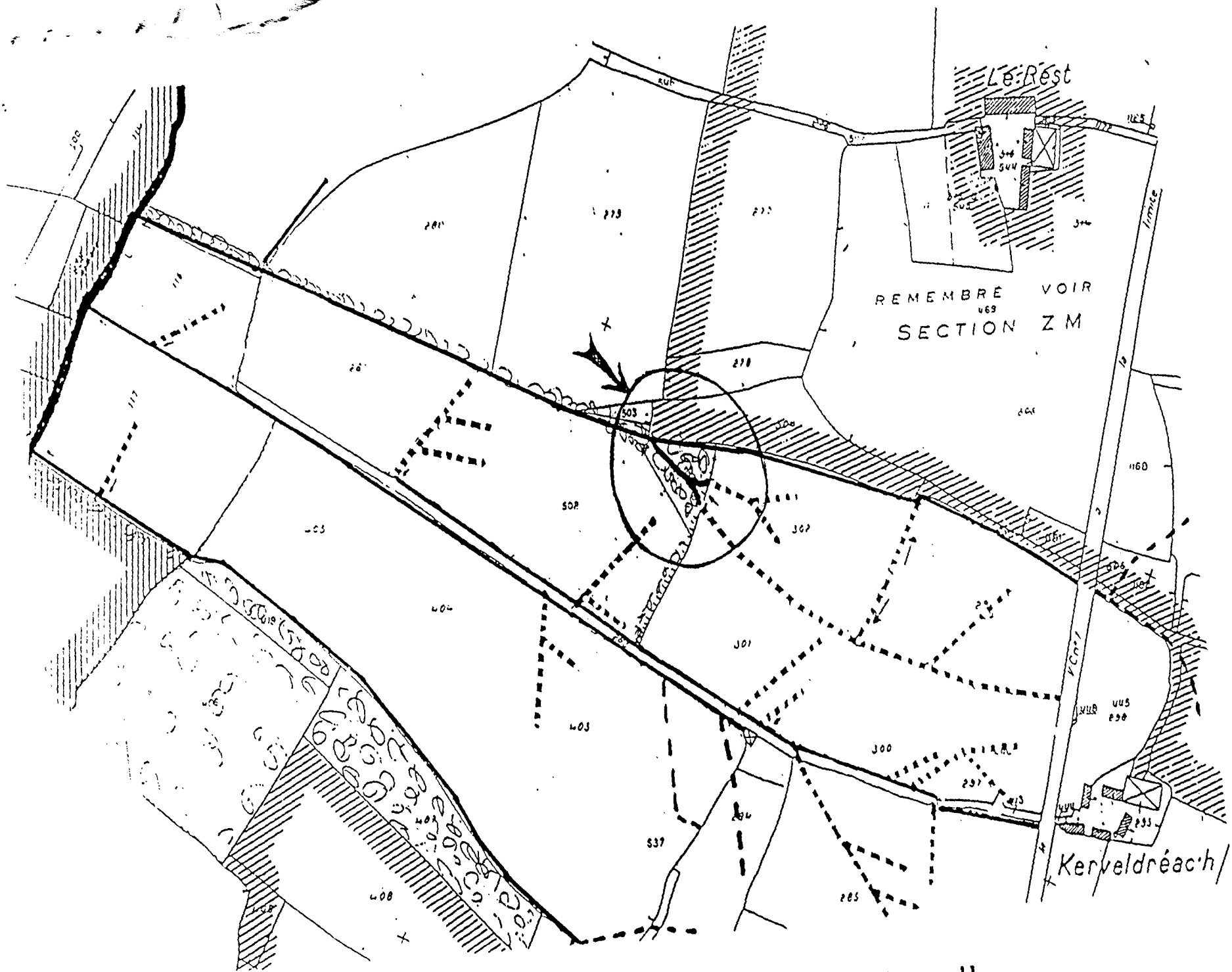


Figure 1 : Plan du site de Kerveldreac'h

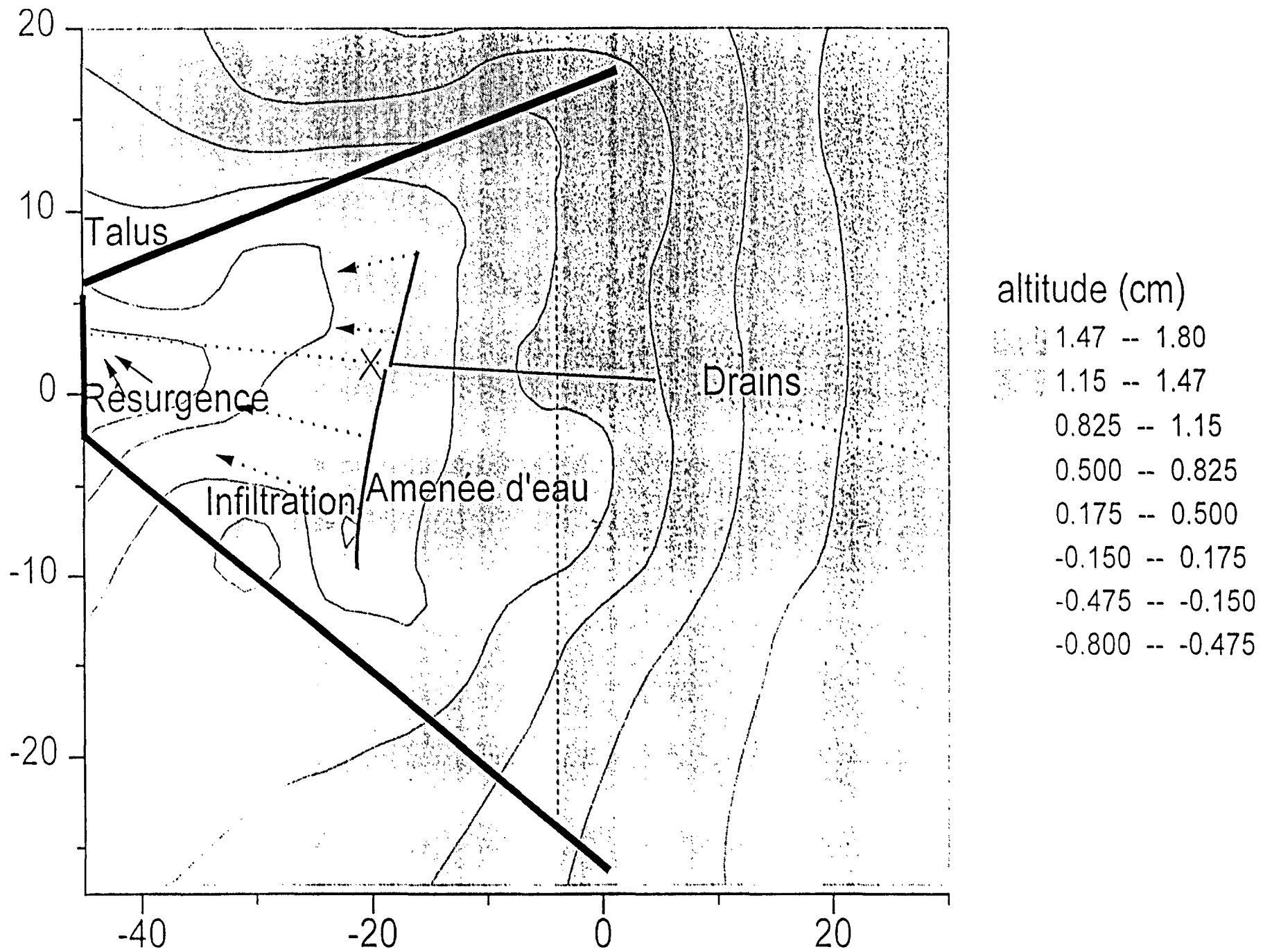
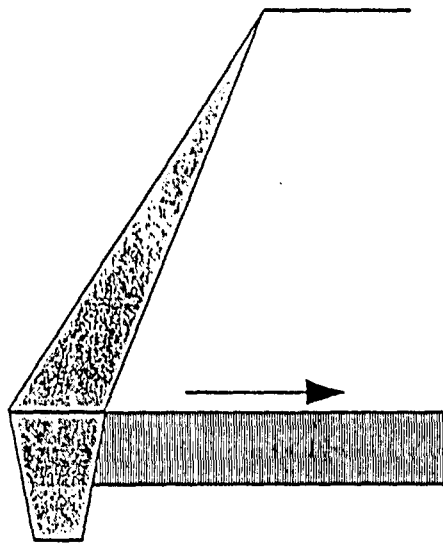


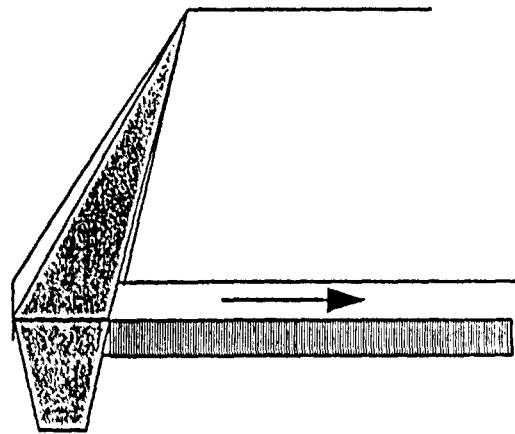
Figure 2 : Plan des aménagements, Kerveldreach

# Configuration des amenées d'eau

Amenée 11 m



Amenée 6 m



Infiltration sur 20 cm d'épaisseur

Infiltration sur 10 cm d'épaisseur

Figure 3

Les prélèvements sont effectués en moyenne tous les quinze jours. Les paramètres mesurés sont les concentrations en NO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub> (chromatographie ionique), NH<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub>, P total (colorimétrie), N total (absorption U.V. après oxydation).

Des tests colorimétriques de terrain sont utilisés pour déterminer, sur la motte, l'état rédox du sol. Des échantillons de sol sont prélevés et incubés pour déterminer les paramètres biochimiques (potentiel dénitrifiant, consommation d'oxygène...).

#### 2.4 Premiers résultats.

Les prélèvements en amont et en aval de la zone ne montrent pas d'évolution significative des teneurs en azote. Par contre, une certaine diminution des teneurs en phosphore total (Fig. 4 et 5). L'absence d'évolution des teneurs en azote s'explique grâce aux analyses d'eau du sol effectuées à l'intérieur de la zone (Fig. 6). On s'aperçoit que dans la partie rive gauche, des teneurs nitriques trois fois plus fortes que celle de l'eau apportée sont observées, et ceci quelle que soit la distance à laquelle on se trouve du fossé d'amenée d'eau. Il y a fort à parier que l'apport en quantité importante d'eau riche en nutriments au sein de cette zone originellement oligotrophe est stimulé fortement son activité biologique. Cette eau étant riche en oxygène, et le flux étant important, les conditions rédox sont restées défavorables à la dénitrification. Bien au contraire, c'est de la nitrification qui a eu lieu. Les tests colorimétriques de terrain ont confirmé que l'ensemble de la zone était resté oxydé.

Par contre, sur la partie rive droite, les concentrations en nitrates sont proches de celle de l'eau apportée à proximité du fossé, et deviennent nulles en aval. De même, les tests redox montrent que la partie aval est anoxique.

La différence de comportement entre les deux rives peut s'expliquer de deux façons: d'une part, les apports d'eau et de nitrates sont beaucoup plus faibles à droite qu'à gauche (13 et 34 kgN/ha/jour, respectivement) en raison de la dissymétrie du système. Il est possible que sur la partie droite, les apports de nitrates et d'oxygène soit restés en deçà de la capacité de consommation du système (qu'on peut estimer à environ 15kgN/ha/jour à partir des mesures de vitesse potentielle de dénitrification), alors que cette dernière a été largement dépassée sur la partie gauche. Il est également possible que la partie aval droite, réduite et dépourvue de nitrate, soit restée hydrauliquement déconnectée de la partie amont. Des expériences de traçage artificiel sont prévues cette année afin de trancher entre ces deux hypothèses. En soi, la mise en évidence d'une phase de nitrification dans la partie saturée ne doit pas être considérée comme négative. On peut penser que la stimulation de l'activité biologique durant cette première année de fonctionnement a permis au contraire d'augmenter le pouvoir épurateur de la zone, et que son fonctionnement sera meilleur cette année, à condition peut-être de mieux dimensionner les flux incidents.

Comparaison amont-aval de la zone humide de Kervijen de la teneur en NO3

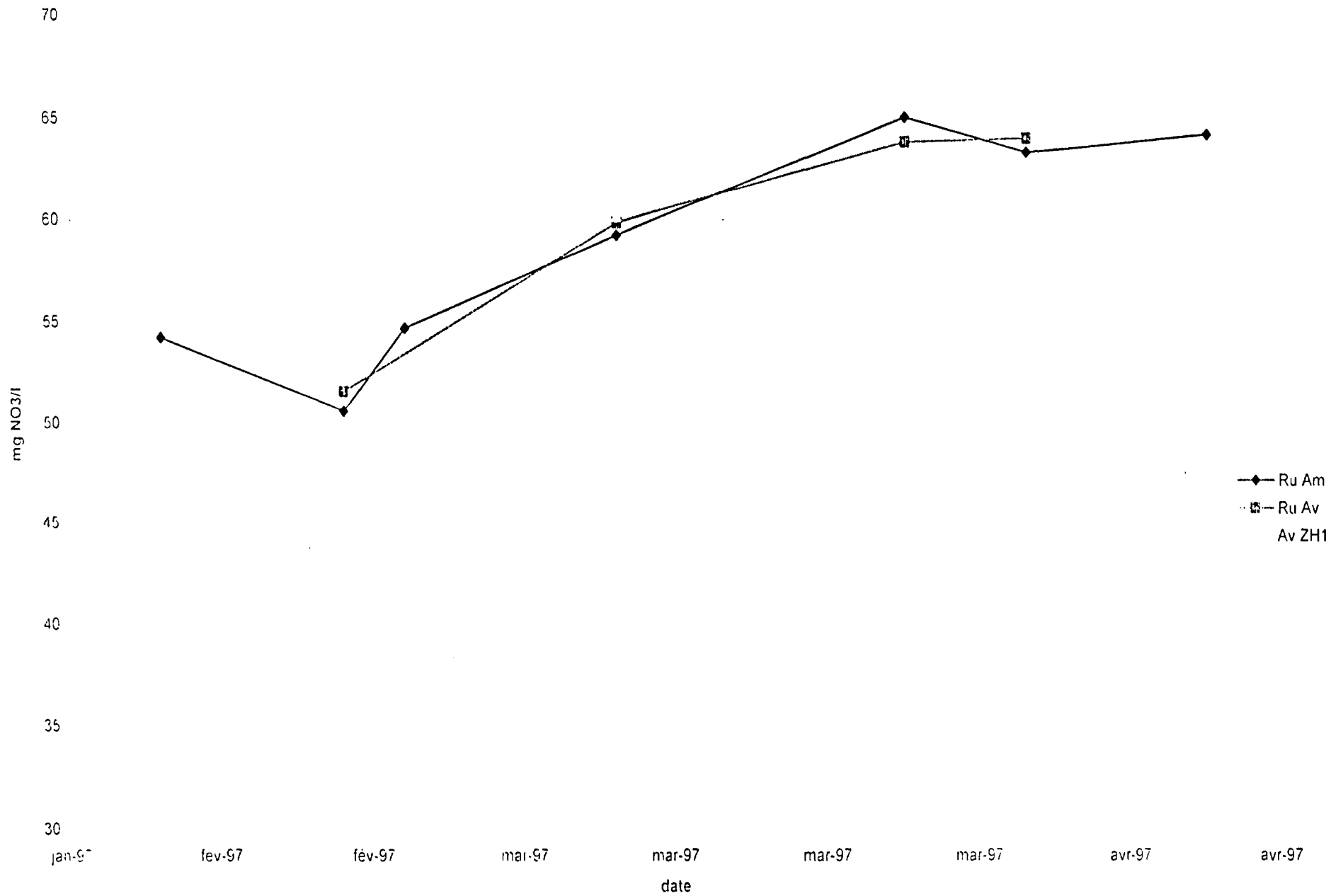


fig. 4



Evolution amont-aval de la zone humide de Kervijen du P tot

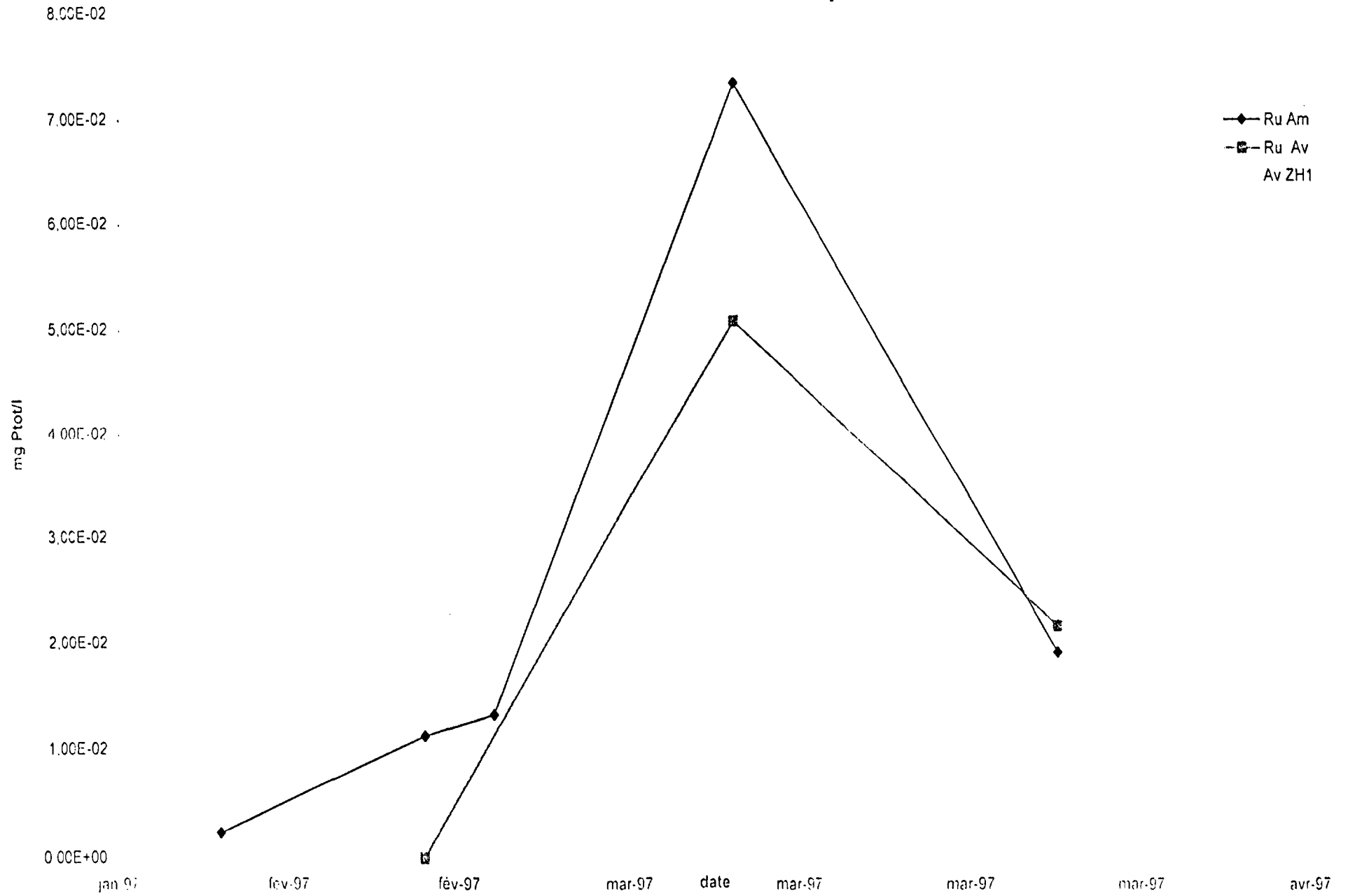


fig 5

Teneurs en nitrates de la solution de sol et du ruisseau le 7/3/97 à Kerveldreac'h

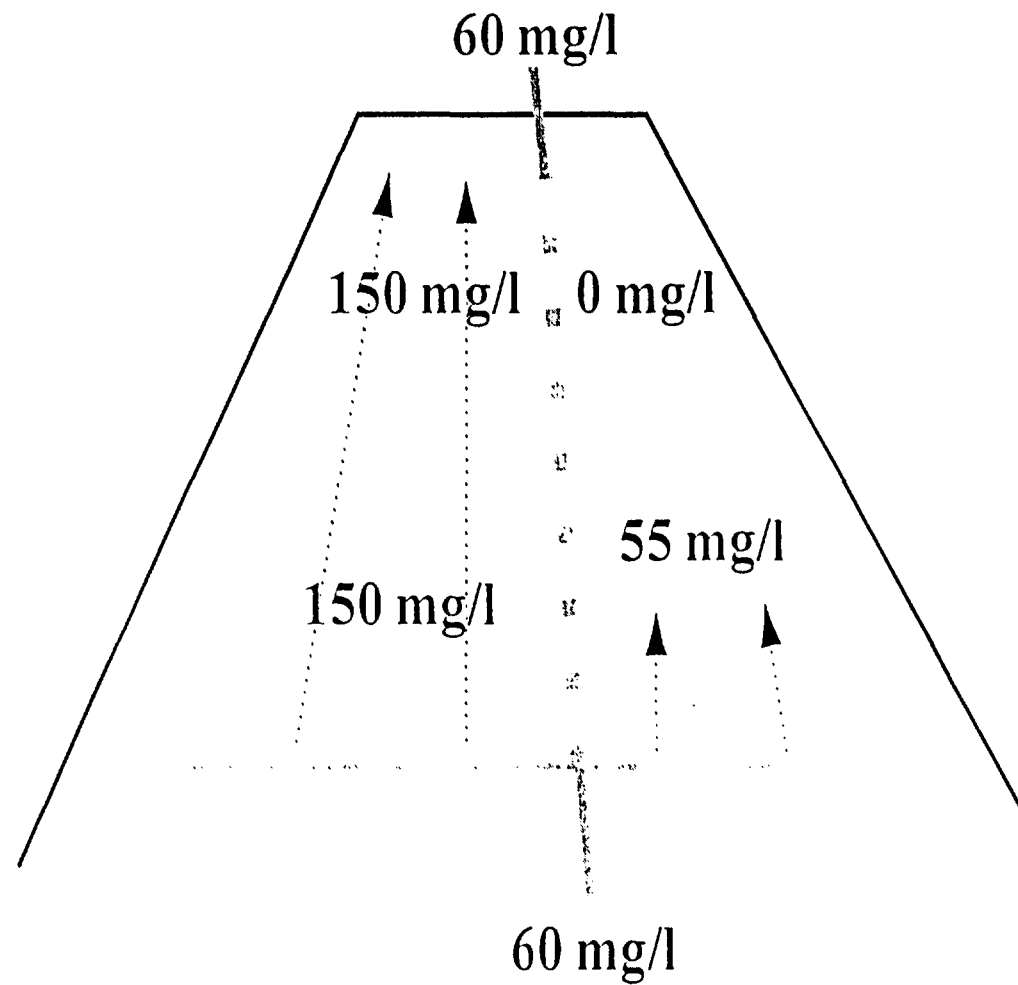


Figure 6

### 3. MODELISATION DU TRANSFERT DE NITRATE DANS LE KERHARO

#### 3.1 Description du modèle TNT1 (modèle de Transfert de Nitrates basé sur la Topographie) (Figure 7)

Le modèle développé n'a pas pour ambition de formaliser de façon exhaustive les mécanismes responsables de la dynamique de l'azote dans un bassin versant, mais de décrire de façon simple les principaux processus rendant compte de cette dynamique, avec une représentation spatiale permettant de tester ensuite des scénarios de modification de pratiques agricoles et/ou d'aménagement de l'espace.

Sur le plan hydrologique, le modèle s'appuie sur TOPMODEL (voir rapport 1996), dont l'aptitude à décrire le fonctionnement hydrologique et la distribution des sols a été testée en détail dans le contexte breton. Ce modèle est couplé avec des modules de transfert et de biotransformation de l'azote prenant en compte l'essentiel de nos acquis dans ce domaine. A savoir:

- un transfert vertical dans les sols de versant non hydromorphes;
- une zone active dénitrifiante localisée dans la couche de surface des zones saturées en eau;
- un fonctionnement de cette zone active liée au cheminement de l'eau, qui peut être schématisé par trois écoulements latéraux superposés: ruissellement de surface, écoulement dans la couche dénitrifiante, écoulement dans les horizons B et l'arène. A ce dernier peut-être rajouté les courts circuits latéraux consistant en une alimentation directe du ruisseau à la faveur des discontinuités de la zone saturée (drainage artificiel). L'importance relative de ces écoulements va dépendre de l'extension des zones saturées.
- enfin, afin de bien simuler la forte diminution de débit et de concentration en nitrate au printemps, un prélèvement direct, par la végétation, d'eau et de nitrate dans la nappe, là où celle-ci est accessible aux racines.

Le drainage et le lessivage de nitrate dans la zone non saturée sont simulés par le modèle de Burns, auquel a été rajoutée une fonction de minéralisation dépendante de la température.

La distribution des profondeurs de sol dans le bassin versant est introduite pour obtenir la réponse de l'ensemble du B.V. Le tout remplace le réservoir "zone racinaire" de TOPMODEL, le couplage étant ainsi réalisé simplement.

Les sorties de TOPMODEL (en particulier, la variation spatio-temporelle du déficit de saturation en eau, et donc l'extension des zones saturées) permettent de dimensionner le réservoir dénitrifiant, de quantifier les courts circuits par ruissellement et par alimentation directe du ruisseau par la nappe, ainsi que la zone de nappe peu profonde où le prélèvement direct d'eau et de nitrate dans la nappe par la végétation est possible.

# LE MODELE TNT1

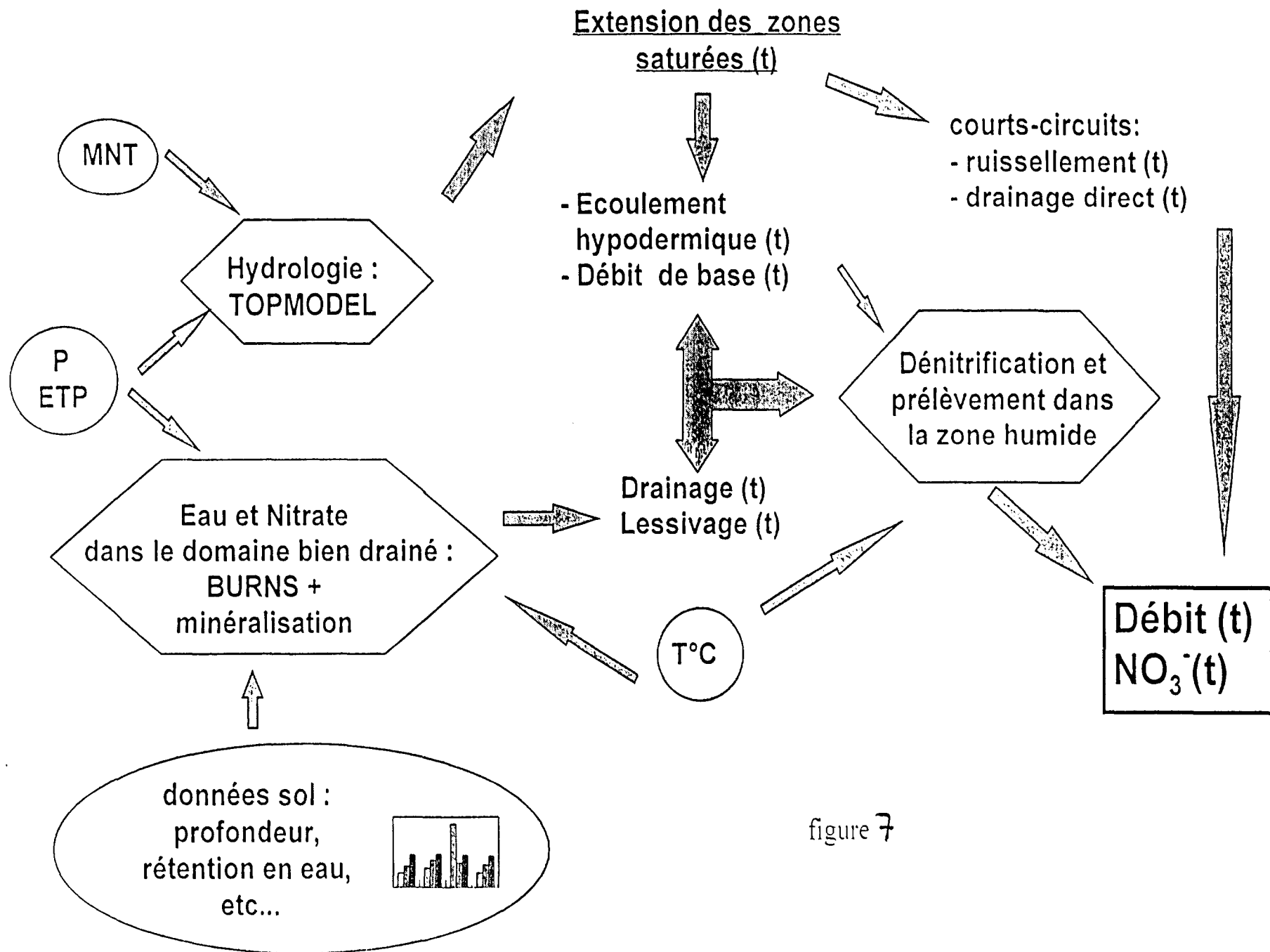


figure 7

La dénitrification dans est estimée par le modèle NEMIS (C. Hénault, Dijon), prenant en compte la vitesse potentielle de dénitrification, diminuée par l'écart au potentiel des facteurs température et concentration en nitrate (voir rapport 1996).

Les variables de forçage sont constituées par les données climatiques (pluies, ETP, température), les reliquats azotés d'automne et les apports azotés agricoles pendant la saison de drainage.

Les données spatiales du bassin-versant nécessaires sont un Modèle Numérique de Terrain, le pourcentage de surface occupé par les différentes classes de profondeur de sol et le pourcentage de surface occupé par les principaux types de culture.

### 3.2 Tests sur le bassin de Kervidy (Naizin)

Dans un premier temps, le modèle a été mis au point et testé sur un sous-bassin amont du Coët Dan, le bassin de Kervidy (4,92 km<sup>2</sup>), sur lequel nous disposons de données plus complètes et de chroniques plus longues que sur le Kerharo. Il faut noter que cette phase est toujours en cours, au fur et à mesure de l'assimilation de nouvelles données, en particulier les données agronomiques précises qui nous faisait défaut jusqu'à maintenant.

Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus sur trois années hydrologiques contrastées sont prometteurs, tant pour la reconstitution des débits que pour celle des concentrations en nitrates (Fig. 8, exemple de 1993-1994). Pour cette dernière, on obtient un écart quadratique moyen entre concentrations simulées et observées inférieur à 10% de la concentration moyenne annuelle.

### 3.3 Première application sur le Kerharo

Afin de tester rapidement la transposabilité du modèle au bassin du Kerharo, une première tentative d'application a été effectuée. Pour ce faire, les données suivantes ont été utilisées:

-pluies, débits, concentrations en nitrates: mesures effectuées à St Nicodème d'octobre 1996 à septembre 1997.

-températures du sol: données de la station bioclimatique INRA de Quimper.

-histogramme de profondeur de sol et données agronomiques: cf. rapport d'avancement 1995.

L'application du modèle hydrologique TOPMODEL permet une simulation satisfaisante des débits, moins bonne toutefois que pour Kervidy (Fig. 9). Il est probable que la taille plus importante du bassin et son hétérogénéité géologique soient pour beaucoup dans ces performances moindres. Une deuxième année de mesure devrait permettre d'affiner le calage.

L'application du modèle TNTI simule assez bien la dynamique générale des teneurs en nitrates sur le bassin versant (Fig. 9). L'écart quadratique moyen entre les valeurs observées et simulées est d'environ 15% de la concentration moyenne annuelle. Il ne s'agit bien sûr que d'un premier essai, qui n'avait pour objet que de vérifier que le modèle développé sur Kervidy

# Hydrologie Kervidy: aout 93 à sept 94

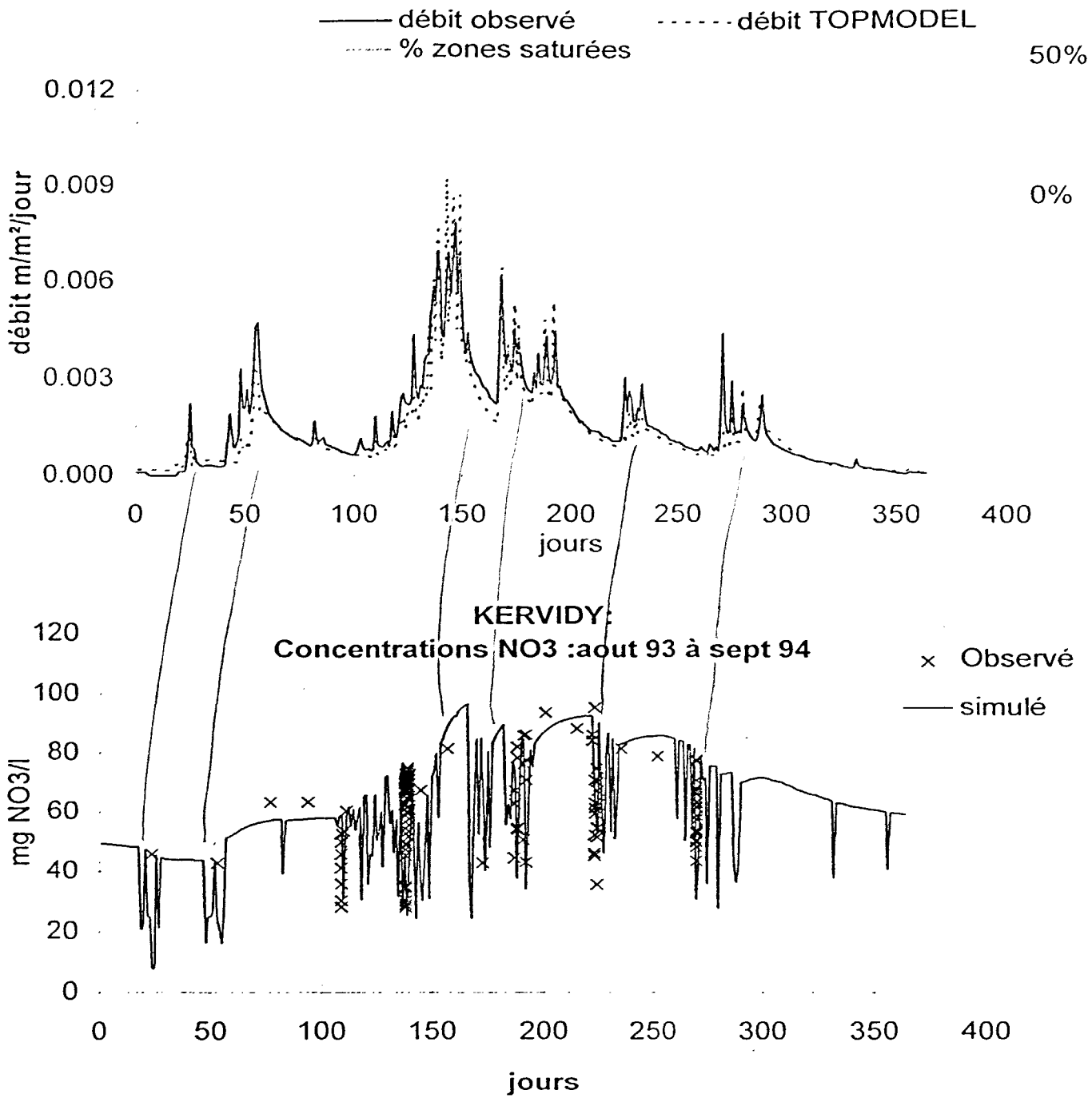


Figure 8

Hydrologie Kerharo: oct 96 à sept. 97

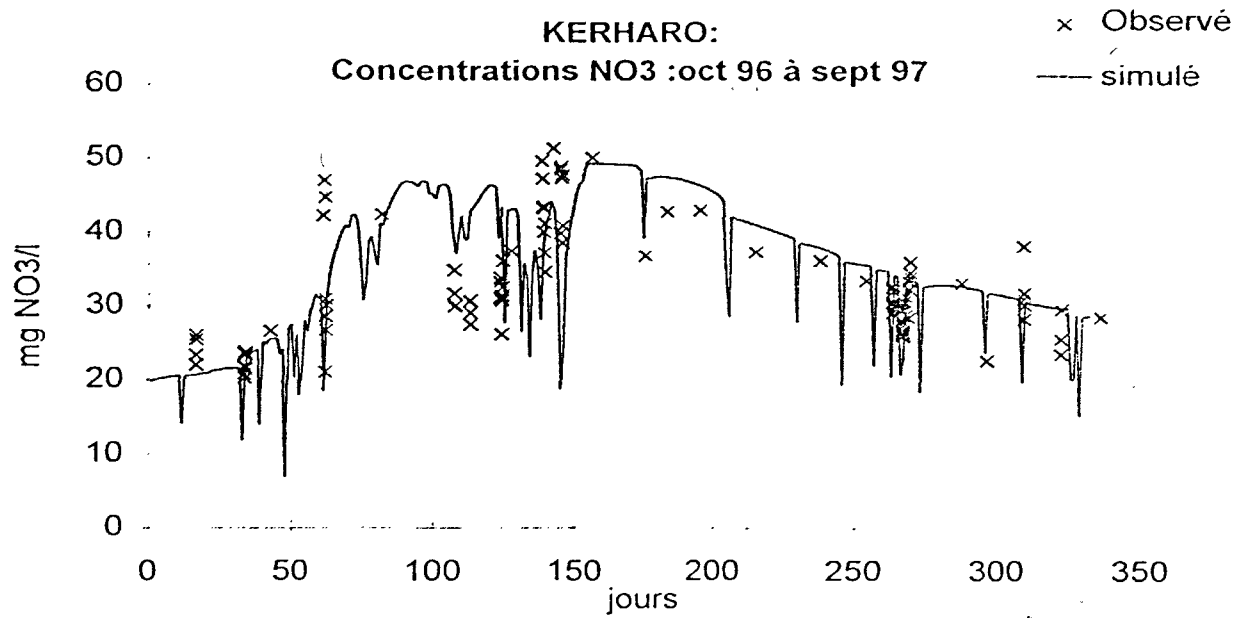
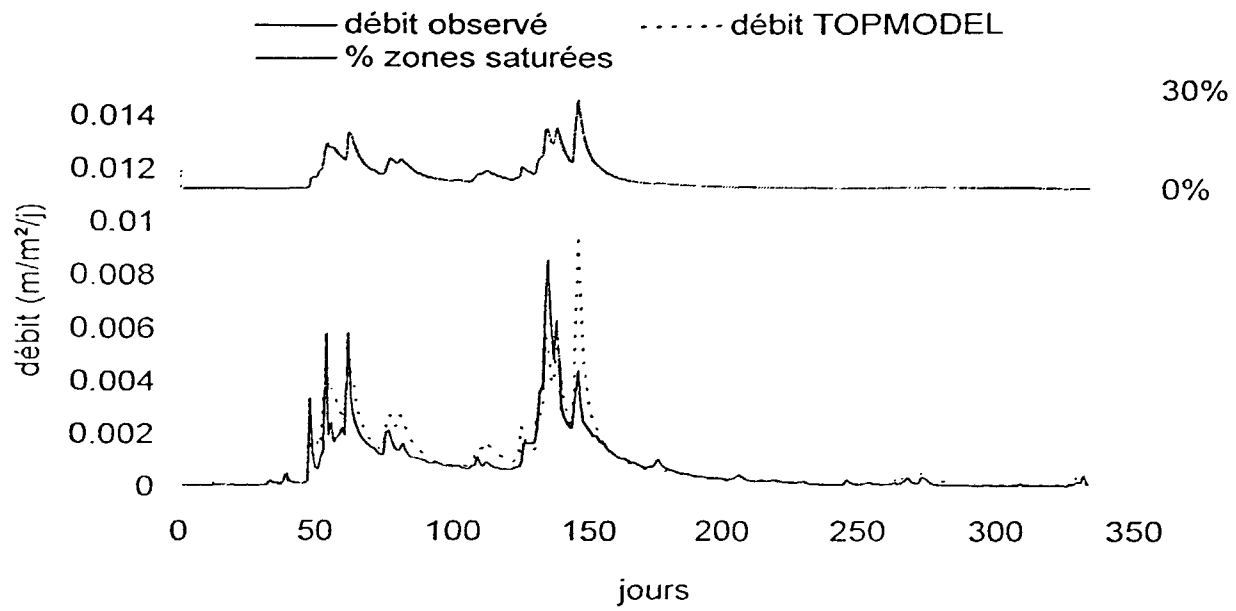


Figure 9

était transposable. La suite du travail consistera à réaliser un calage et une validation plus rigoureuse.

La difficulté d'un tel exercice, dans le contexte précis de cette étude, est d'obtenir une simulation satisfaisante à la fois pour les hautes eaux hivernales (afin de connaître les flux azotés annuels) et sur les basses eaux de fin de printemps et d'été (afin d'évaluer le risque d'eutrophisation littorale). En montrant une restitution correcte de l'ensemble de l'hydrogramme et du chemogramme, ces premiers résultats permettent d'être raisonnablement optimiste dans ce domaine.

#### **4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.**

Aménagement et suivi du site de Kerveldreac'h, développement et première application du modèle de transfert de nitrate constituent les avancées importantes du programme cette année. L'étude du site aménagé sera poursuivie et complétée en 1998, en espérant un hiver plus humide que l'année dernière. Le modèle TNT1 sera quant à lui testé plus rigoureusement, avec des données supplémentaires, avant d'être utilisé en outil d'évaluation de scénarios. Ces scénarios devront être élaborés en croisant des années climatiques contrastées avec des actions de contrôle de pollution, portant sur les pratiques agricoles et l'aménagement du bassin-versant. Ceci devrait permettre de juger de l'efficacité relative de ces actions pour la réduction des flux de printemps et d'été.



ANNEXE:

Résultats analytiques

## ST NICODEME: Teneurs en nitrates du Kerharo

N.B. : les données complètes (débit, conductivité, phosphore...) sont disponibles sur disquette.

date	NO3 mg/l	date	NO3 mg/l
18/10/1996 20:16	22.05	07/03/1997 12:00	50.12
18/10/1996 20:46	23.38	26/03/1997 12:45	36.72
18/10/1996 21:16	25.50	26/03/1997 13:00	36.70
18/10/1996 21:46	26.11	03/04/1997 12:00	42.70
04/11/1996 07:15	20.83	15/04/1997 12:15	42.88
04/11/1996 11:15	23.65	05/05/1997 12:00	37.23
04/11/1996 13:45	21.86	28/05/1997 13:00	36.00
04/11/1996 14:45	21.67	13/06/1997 12:30	33.30
04/11/1996 15:45	20.30	22/06/1997 13:45	29.20
04/11/1996 16:15	23.51	22/06/1997 14:45	32.50
04/11/1996 16:45	23.44	22/06/1997 15:45	30.50
04/11/1996 17:45	23.82	22/06/1997 16:45	30.40
04/11/1996 18:45	21.48	22/06/1997 17:45	32.00
13/11/1996 16:00	26.69	22/06/1997 18:45	32.00
02/12/1996 16:00	42.19	22/06/1997 19:45	29.00
03/12/1996 09:15	21.10	22/06/1997 20:45	30.00
03/12/1996 10:15	47.00	25/06/1997 11:15	23.20
03/12/1996 11:45	44.70	25/06/1997 12:15	30.00
03/12/1996 14:45	30.90	25/06/1997 13:15	29.20
03/12/1996 16:45	28.60	25/06/1997 14:15	29.90
03/12/1996 18:45	26.70	25/06/1997 15:15	29.20
03/12/1996 20:15	30.10	25/06/1997 16:15	29.70
23/12/1996 14:30	42.30	25/06/1997 17:15	30.00
17/01/1997 08:00	31.70	25/06/1997 18:15	29.20
17/01/1997 10:00	34.80	25/06/1997 19:15	28.00
17/01/1997 13:30	29.90	25/06/1997 20:15	27.30
17/01/1997 19:30	30.10	25/06/1997 21:15	26.80
22/01/1997 18:45	30.70	25/06/1997 22:15	26.70
22/01/1997 20:15	30.60	25/06/1997 23:15	26.20
22/01/1997 21:45	27.50	26/06/1997 00:15	26.30
22/01/1997 23:45	29.10	26/06/1997 01:15	25.90
02/02/1997 12:00	33.20	26/06/1997 02:15	26.50
02/02/1997 13:00	33.70	26/06/1997 13:00	30.60
02/02/1997 14:00	31.00	26/06/1997 21:45	28.70
02/02/1997 19:00	26.20	26/06/1997 22:45	31.30
02/02/1997 22:00	30.70	28/06/1997 00:45	28.40
03/02/1997 00:00	31.20	28/06/1997 02:45	33.30
03/02/1997 02:00	31.40	28/06/1997 07:45	32.20
03/02/1997 06:00	32.50	28/06/1997 12:45	33.80
03/02/1997 11:00	36.00	28/06/1997 15:45	34.40
06/02/1997 11:30	37.40	28/06/1997 18:45	35.90
17/02/1997 15:30	49.60	16/07/1997 12:30	33.00
17/02/1997 18:00	47.20	25/07/1997 12:30	22.60
17/02/1997 23:00	43.40	07/08/1997 14:45	30.80
18/02/1997 01:00	43.10	07/08/1997 15:45	38.00
18/02/1997 06:00	40.00	07/08/1997 18:45	28.20
18/02/1997 09:00	37.10	07/08/1997 19:45	31.70
18/02/1997 12:00	34.50	07/08/1997 21:45	30.00
18/02/1997 17:00	41.10	07/08/1997 23:45	31.60
21/02/1997 19:00	51.30	20/08/1997 14:45	23.50
24/02/1997 02:45	48.39	20/08/1997 15:15	25.50
24/02/1997 03:45	48.66	20/08/1997 20:30	29.40
24/02/1997 06:45	39.80	03/09/1997 11:00	28.50
24/02/1997 08:45	48.86		
24/02/1997 13:45	47.28		
24/02/1997 20:45	47.71		
24/02/1997 23:45	40.83		
25/02/1997 00:45	38.47		

# KERVELDREACH

Date	Site		N° echant	pH terrain	Temp°C	Cond	O2 mg/l	R	DO210	DO270	[NO3]estim mg/l
05-fév-97	Amont	DAMJ						1,9	7,69E-01	1,24E-03	57,38
17-fév-97	Amont	DAMJ	K1					1,9	7,34E-01	1,49E-03	55,26
21-fév-97	Amont	DAMJ	K4					1,9	7,43E-01	1,90E-03	55,34
07-mar-97	Amont	DAMJ	K5	5,22	10,7	267		1,9	7,36E-01	1,50E-03	57,59
26-mar-97	Amont	DAMJ	K8	5,15	11,2	270		1,9	7,97E-01	1,56E-03	60,29
03-avr-97	Amont	DAMJ	K11	5,17	11,5	305		1,9	7,80E-01	9,40E-04	61,11
15-avr-97	Amont	DAMJ	K10	5,48	12,2	271	13,7	1,9	7,98E-01	2,70E-03	62,19
17-fév-97	Aval	DAVJ	K2					2,3	7,31E-01	2,00E-03	54,90
07-mar-97	Aval	DAVJ	K7	5,3	11,5	268		2,3	7,45E-01	5,80E-03	57,48
26-mar-97	Aval	DAVJ	K9	5,49	11,4	271		2,3	8,05E-01	5,24E-03	60,20
03-avr-97	Aval	DAVJ	K13	5,94	111,7	303		2,3	7,81E-01	2,14E-03	60,93
03-avr-97	sol	KT11	K12					2,58	1,19E+00	6,01E-01	-2,82
07-mar-97	Aval	RAVJ	K6	5,11	11,5	267		1,9	7,40E-01	9,20E-03	56,72

Date	Site	n [NO3]est-[NO3]	O210(N=0):DO27	NH4 mg/l	Ntot mgN/l	Psol mg/l	Ptot mg/l	Si mMol/l	Cl	NO3	SO4
05-fév-97	Amont	5,73%	44,15	0		1,43E-03	2,39E-03		29,46	54,27	15,02
17-fév-97	Amont	9,16%	43,18	3,60E-02	12,52	6,33E-03	1,13E-02	0,166	27,45	50,62	16,22
21-fév-97	Amont	1,15%	9,98				1,33E-02	0,169	28,45	54,72	16,66
07-mar-97	Amont	-2,83%	-12,36		13,06		7,36E-02	0,171	29,70	59,27	16,03
26-mar-97	Amont	-7,34%	-20,24				1,92E-02	0,161	30,97	65,07	13,97
03-avr-97	Amont	-3,56%	-28,43						34,61	63,36	16,13
15-avr-97	Amont	-3,18%	-7,21		14,26	0	0	0,035	31,60	64,23	16,70
17-fév-97	Aval	6,35%	25,97	1,30E-02	12,65	3,64E-03	0	0,169	28,06	51,62	16,70
07-mar-97	Aval	-4,04%	-3,00		13,1		5,09E-02	0,166	30,87	59,89	16,13
26-mar-97	Aval	-5,78%	-1,67				2,17E-02	0,128	30,94	63,89	14,11
03-avr-97	Aval	-4,87%	-16,12						32,70	64,05	17,28
03-avr-97	sol	-140,21%	0,50						33,62	7,01	14,40
07-mar-97	Aval	-5,84%	-2,96		14,31		2,39E-02	0,173	30,92	60,23	16,66

Date	Site	Cl/NO3	Cl/SO4	Debit ( l/s )
05-fév-97	Amont	0,54	1,96	
17-fév-97	Amont	0,54	1,69	
21-fév-97	Amont	0,52	1,71	
07-mar-97	Amont	0,50	1,85	
26-mar-97	Amont	0,48	2,22	
03-avr-97	Amont	0,55	2,15	
15-avr-97	Amont	0,49	1,89	0,00
17-fév-97	Aval	0,54	1,68	
07-mar-97	Aval	0,52	1,91	0,86
26-mar-97	Aval	0,48	2,19	0,25
03-avr-97	Aval	0,51	1,89	
03-avr-97	sol	4,80	2,33	
07-mar-97	Aval	0,51	1,86	0,45