

Université du Québec  
INRS-Eau

**Suivi des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines des bandes riveraines.**

Par  
N'Deye Marie Diallo  
Baccalauréat en Bio-Agronomie

Mémoire présenté  
pour l'obtention  
du grade de Maître ès science (M.Sc.)

Jury d'évaluation

Examineur externe

Marie Larocque  
UQAM

Examineur interne

Daniel Cluis  
INRS-Eau

Directeur de recherche

Olivier Banton  
INRS-Eau

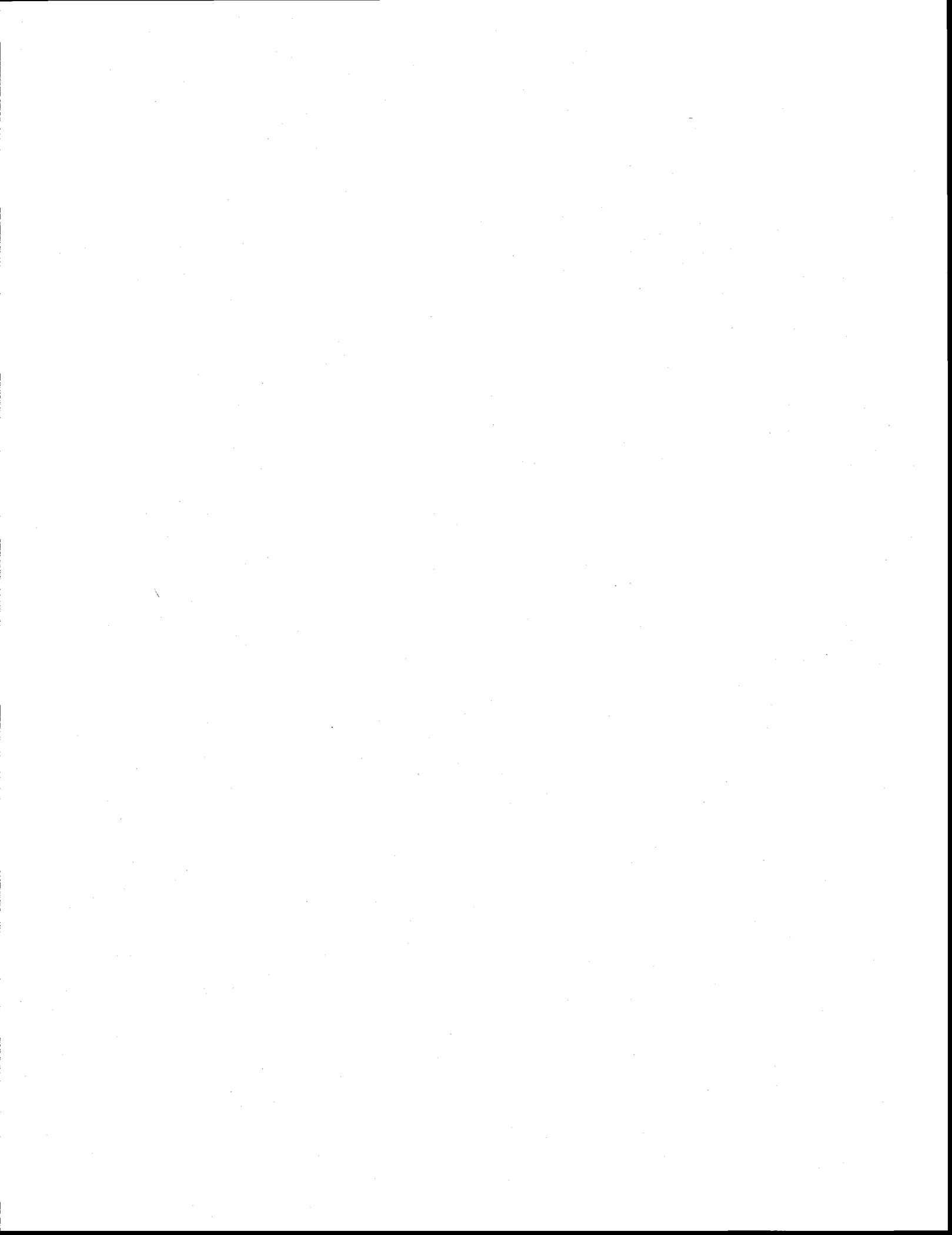
octobre 2001



## REMERCIEMENTS

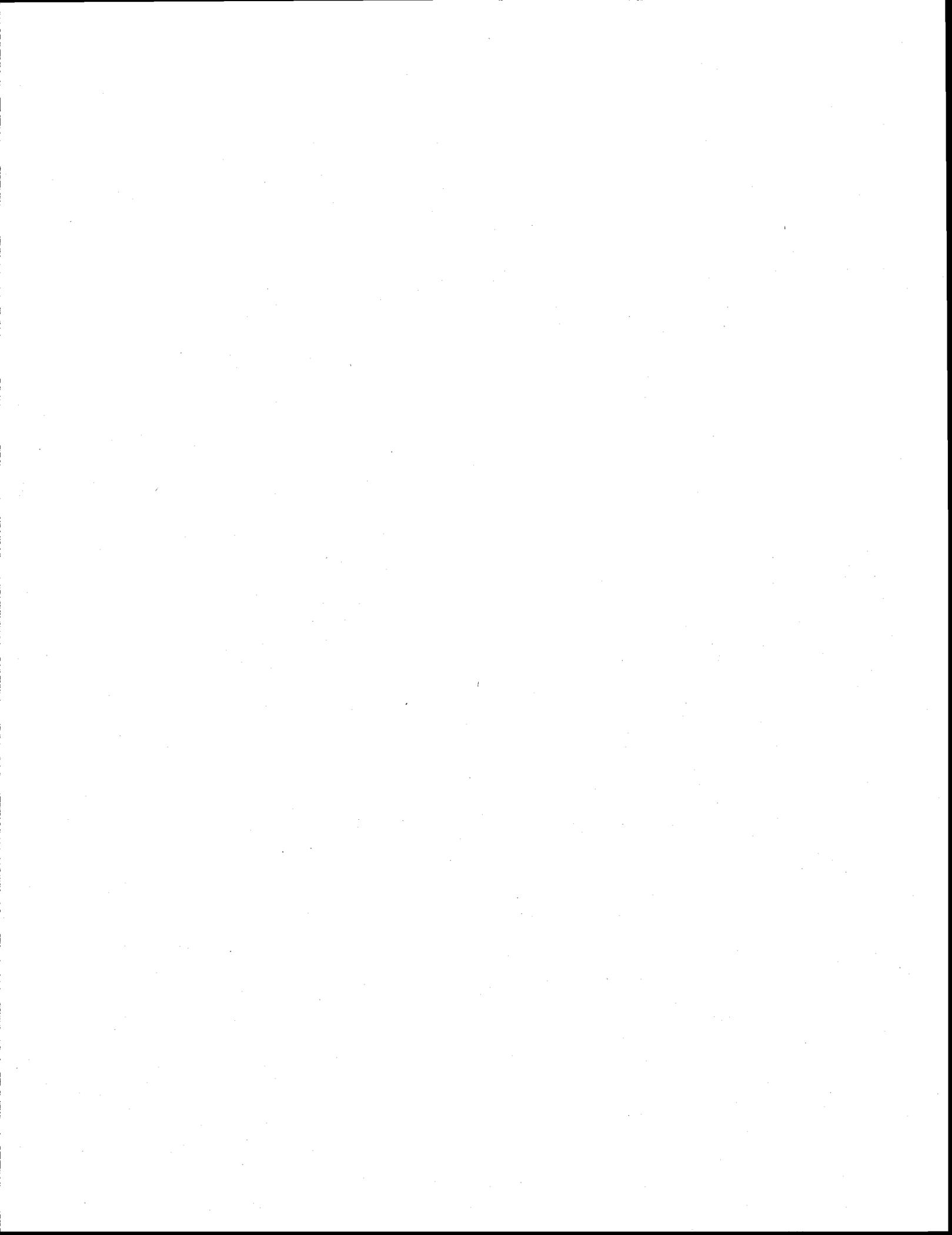
Je voudrais tout d'abord remercier mon directeur Olivier Banton pour m'avoir donné la chance de réaliser cette maîtrise ainsi que pour son soutien scientifique et financier. Je voudrais aussi remercier toutes les personnes de l'équipe qui m'ont aidée autant au niveau de la recherche, du terrain et des statistiques. Je tiens à remercier particulièrement le personnel du laboratoire qui m'a beaucoup aidée.

Aussi, je voudrais remercier mes parents, mes frères et sœurs sans qui je ne serais pas ce que je suis aujourd'hui. Et finalement, je voudrais remercier mes amis, ceux de la maîtrise et les autres avec qui j'ai partagé les hauts et les bas.



## RÉSUMÉ

Ce projet de maîtrise consistait à vérifier l'efficacité de différentes bandes riveraines à atténuer la teneur en nitrates des eaux souterraines en bordure des cours d'eau. Outre la teneur en nitrates des échantillons, la température, la profondeur de la nappe et le pH ont été mesurés. Pour ce, l'eau souterraine a été prélevée dans des piézomètres, puis analysée au laboratoire à l'aide d'une électrode sélective et finalement les données obtenues ont été compilées et analysées statistiquement. Les différentes bandes riveraines utilisées étaient à végétation rase (végétation contrôlée), à végétation herbacée ou encore à végétation arbustive. Malgré la grande variabilité spatiale qui existe, l'étude a permis de conclure que les bandes riveraines à végétation herbacée ou arbustives sont nettement plus efficaces que les bandes riveraines à végétation rase pour atténuer des concentrations en nitrates. D'autre part, il a été constaté que le type de végétation ne changeait pas significativement la capacité d'atténuation de la bande riveraine pourvu qu'il y ait une végétation, mais aussi que la culture adjacente pouvait avoir un effet par le type de fertilisation et le retour en matière organique au sol. De plus, l'analyse de l'influence des différents paramètres sur l'atténuation a permis de constater que c'était l'interrelation entre les différents paramètres mesurés qui était responsable de l'atténuation et non chacun de ces paramètres pris individuellement. Finalement, même si la largeur de la bande riveraine idéale ne peut être déterminée, il semble que dans ce cas-ci, une bande de quatre à six mètres soit efficace.

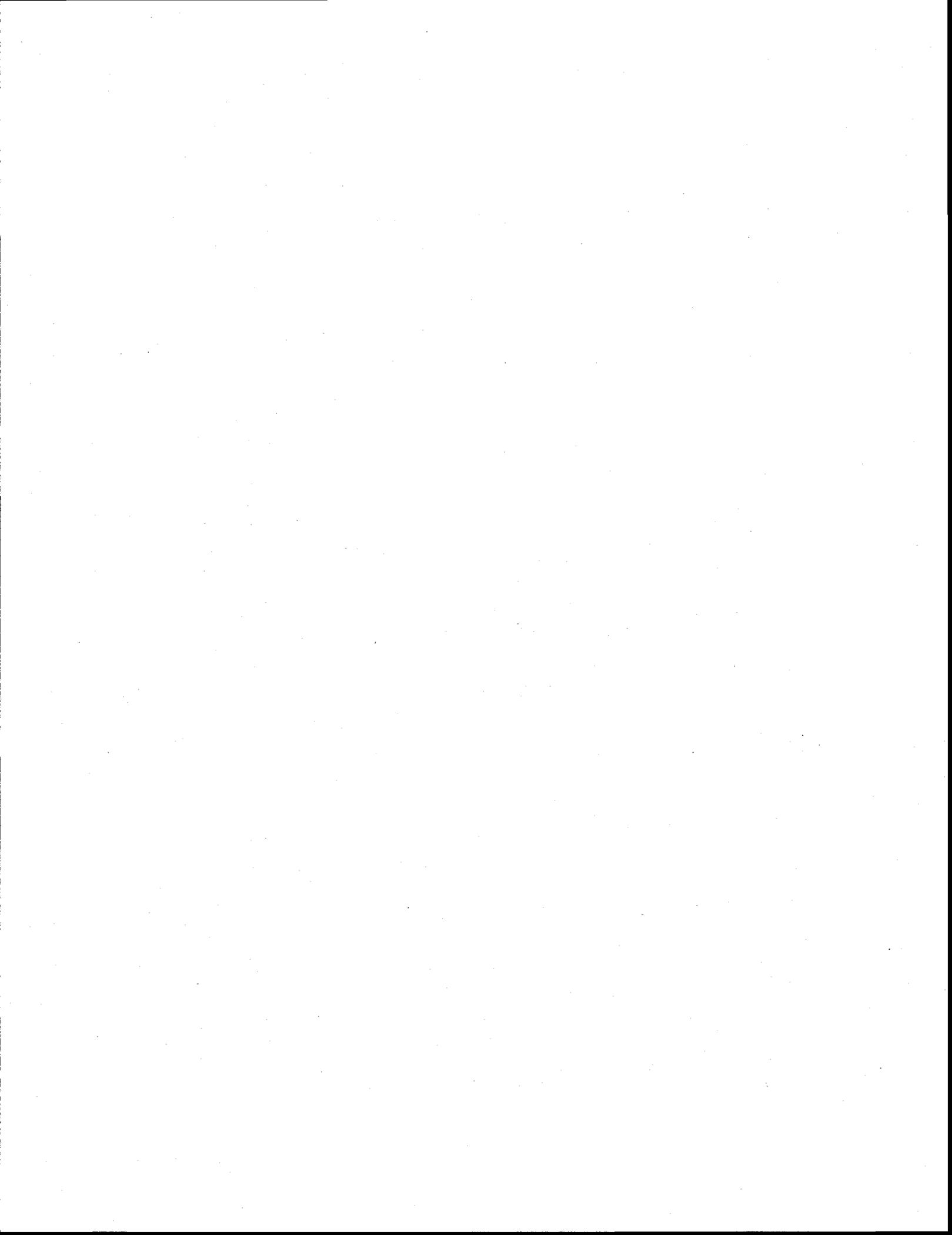


# TABLE DES MATIÈRES

<b><u>REMERCIEMENTS</u></b> .....	<b>I</b>
<b><u>RÉSUMÉ</u></b> .....	<b>III</b>
<b><u>TABLE DES MATIÈRES</u></b> .....	<b>V</b>
<b><u>Liste des Tableaux</u></b> .....	<b>IX</b>
<b><u>Liste des Figures</u></b> .....	<b>XI</b>
<b><u>Liste des Équations</u></b> .....	<b>XII</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
1.1 PROBLÉMATIQUE .....	1
1.1.1 <i>Généralités</i> .....	1
1.1.2 <i>Région d'étude</i> .....	2
1.2 OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE.....	3
<b>2. REVUE DE LITTÉRATURE</b> .....	<b>5</b>
2.1 LE CYCLE DE L'AZOTE.....	5
2.1.1 <i>La fixation</i> .....	6
2.1.2 <i>L'assimilation</i> .....	7
2.1.3 <i>L'ammonification</i> .....	7
2.1.4 <i>La nitrification</i> .....	7
2.1.5 <i>La dénitrification</i> .....	8
2.2 DYNAMIQUE DE LA BANDE RIVERAINE.....	9
2.3 AVANTAGES ET DÉSAVANTAGES DES BANDES RIVERAINES.....	11
2.4 PARAMÈTRES MESURÉS.....	12
2.4.1 <i>Température</i> .....	13
2.4.2 <i>La profondeur de la nappe</i> .....	13
2.4.3 <i>Le pH</i> .....	13
2.4.4 <i>La teneur en nitrates</i> .....	14
2.4.5 <i>Les Chlorures</i> .....	14
2.5 ÉTAT DE LA RECHERCHE .....	14

<b>3. MATÉRIEL ET MÉTHODE.....</b>	<b>17</b>
3.1 LOCALISATION DES SITES EXPÉRIMENTAUX.....	17
3.2 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.....	19
3.3 CARACTÉRISTIQUES DES SITES.....	19
3.4 ÉCHANTILLONAGE.....	26
3.5 STATISTIQUES.....	27
<b>4. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>29</b>
4.1 EFFICACITÉ.....	29
4.1.1 <i>Végétation herbacée</i> .....	30
4.1.2 <i>Végétation arbustive</i> .....	31
4.1.3 <i>Végétation rase</i> .....	32
4.1.4 <i>Statistiques</i> .....	34
4.2 LES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES ET LEUR INFLUENCE SUR L'EFFICACITÉ.....	35
4.2.1 <i>La température</i> .....	35
4.2.2 <i>Le pH</i> .....	38
4.2.3 <i>La profondeur de la nappe</i> .....	40
4.2.4 <i>Cours d'eau</i> .....	42
4.2.5 <i>Les chlorures</i> .....	43
4.3 LARGEUR DE LA BANDE RIVERAINE.....	44
4.3.1 <i>Statistiques</i> .....	48
4.4 RELATION ENTRE LES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES.....	49
4.4.1 <i>Nitrates versus Température</i> .....	49
4.4.2 <i>Nitrates versus profondeur de la nappe</i> .....	51
4.4.3 <i>Nitrates versus pH</i> .....	52
4.4.4 <i>Statistiques</i> .....	53
4.5 EFFET DE LA CULTURE ADJACENTE.....	54
4.5.1 <i>Statistiques</i> .....	59
4.6 TENDANCES SUR CINQ ANNÉES.....	62
<b>5. CONCLUSION.....</b>	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>69</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>73</b>
ANNEXE A.....	73

<i>Efficacité</i> .....	73
ANNEXE B .....	81
<i>Effet de la culture adjacente</i> .....	81
ANNEXE C .....	85
<i>Résultats et tendances sur cinq années</i> .....	85
ANNEXE D .....	109
<i>Statistiques</i> .....	109



## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2.1 : AVANTAGES ET DÉSAVANTAGES DE L'UTILISATION DES BANDES RIVERAINES (ADAPTÉ DE COOK, 1997).....	12
TABLEAU 3.1 : CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DES SITES (A : VÉGÉTATION ARBUSTIVE ; H : VÉGÉTATION HERBACÉE ; R : VÉGÉTATION RASE).....	20
TABLEAU 3.2 : ESPÈCES VÉGÉTALES DES DIFFÉRENTS SITES EXPÉRIMENTAUX (LABCHIR, 1999).....	22
TABLEAU 4.1 : LARGEUR DES BANDES RIVERAINES POUR LES NEUF SITES D'ÉTUDES (TIRÉ DE LABCHIR, 1999).....	46
TABLEAU 4.2 : TENEURS MOYENNES EN NITRATES (MG N/L) À LA LIMITE CHAMP-BANDE RIVERAINE AU SITE R <sub>1</sub> .....	55
TABLEAU 4.3 : TENEURS MOYENNES EN NITRATES (MG N/L) À LA LIMITE CHAMP-BANDE RIVERAINE AU SITE R <sub>3</sub> .....	55
TABLEAU 4.4 : TENEURS MOYENNES EN NITRATES (MG N/L) POUR LA BANDE RIVERAINE AUX SITES R <sub>1</sub> ET R <sub>3</sub> . .....	56
TABLEAU 4.5 : APPORT EN AZOTE POUR LES DIFFÉRENTES CULTURES RETROUVÉES SUR LES PARCELLES ADJACENTES AUX BANDES RIVERAINES ÉTUDIÉES (GUIDE DU CPVQ).....	58
TABLEAU 4.6: TYPES DE CULTURES ET CONCENTRATIONS MOYENNES (MG N/L) RETROUVÉES À LA LIMITE CHAMP-BANDE AU SITE A <sub>1</sub> .....	59
TABLEAU 4.7 : TYPES DE CULTURES ET CONCENTRATIONS MOYENNES (MG N/L) RETROUVÉES À LA LIMITE CHAMP-BANDE AU SITE A <sub>3</sub> .....	60
TABLEAU 4.8 : TYPES DE CULTURES ET CONCENTRATIONS MOYENNES (MG N/L) RETROUVÉES À LA LIMITE CHAMP-BANDE AU SITE H <sub>2</sub> .....	60
TABLEAU 4.9 : TYPES DE CULTURES ET CONCENTRATIONS MOYENNES (MG N/L) RETROUVÉES À LA LIMITE CHAMP-BANDE AU SITE H <sub>3</sub> .....	61
TABLEAU 4.10 : TYPES DE CULTURES ET CONCENTRATIONS MOYENNES (MG N/L) RETROUVÉES À LA LIMITE CHAMP-BANDE AU SITE R <sub>2</sub> .....	61



## LISTE DES FIGURES

FIGURE 2.1 : LE CYCLE DE L'AZOTE (STEVENSON, 1982) .....	6
FIGURE 2.2 : SCHÉMA DU CYCLE HYDROLOGIQUE DE LA BANDE RIVERAINE (TRADUIT DE GOLD AND KELLOGG, 1997) .....	10
FIGURE 3.1 : SITUATION GÉOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT. ....	17
FIGURE 3.2 : EMBLEMMENT DES SITES EXPÉRIMENTAUX.....	18
FIGURE 3.3 : LOCALISATION DES PIÉZOMÈTRES DANS LA BANDE RIVERAINE.....	19
FIGURE 3.4 : PROFIL TOPOGRAPHIQUE TRANSVERSAL DES SITES À L'ÉTUDE (SITES A <sub>1</sub> H <sub>1</sub> ).....	23
FIGURE 3.5 : PROFIL TOPOGRAPHIQUE TRANSVERSAL DES SITES À L'ÉTUDE (SITES H <sub>3</sub> ET R <sub>1</sub> ).....	24
FIGURE 3.6 : PROFIL TOPOGRAPHIQUE TRANSVERSAL DES SITES À L'ÉTUDE (SITES H <sub>2</sub> , A <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> ET A <sub>3</sub> ).....	25
FIGURE 3.7 : PROFIL TOPOGRAPHIQUE TRANSVERSAL DES SITES À L'ÉTUDE (SITE R <sub>2</sub> ).....	26
FIGURE 4.1 : EFFICACITÉ MOYENNE DE LA BANDE RIVERAINE POUR LES CINQ ANNÉES D'ÉTUDE AUX SITES À VÉGÉTATION HERBACÉE (H <sub>1</sub> , H <sub>2</sub> ET H <sub>3</sub> ). ....	31
FIGURE 4.2 : EFFICACITÉ MOYENNE DE LA BANDE RIVERAINE POUR LES CINQ ANNÉES D'ÉTUDE AUX SITES À VÉGÉTATION ARBUSTIVE (A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> ET A <sub>3</sub> ). ....	32
FIGURE 4.3 : EFFICACITÉ MOYENNE DE LA BANDE RIVERAINE POUR LES CINQ ANNÉES D'ÉTUDE AUX SITES À VÉGÉTATION RASE (R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> ET R <sub>3</sub> ).....	33
FIGURE 4.4 : EFFICACITÉ MOYENNE DES DIFFÉRENTS TYPES DE BANDES RIVERAINES POUR LES CINQ ANNÉES D'ÉTUDE. ....	34
FIGURE 4.5 : ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE AUX DIFFÉRENTES POSITIONS DE PIÉZOMÈTRES ET DANS LE COURS D'EAU ADJACENT AU SITE A <sub>1</sub> .....	36
FIGURE 4.6 : EFFICACITÉ EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE AU SITE R <sub>3</sub> POUR LES DEUX SÉRIES DE PIÉZOMÈTRES.....	38
FIGURE 4.7 : ÉVOLUTION DU pH MOYEN AUX DIFFÉRENTES POSITIONS DE PIÉZOMÈTRES ET DANS LE COURS D'EAU ADJACENT AU SITE A <sub>1</sub> .....	39
FIGURE 4.8 : ÉVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE LA PROFONDEUR DE LA NAPPE AU SITE R <sub>2</sub> .....	40
FIGURE 4.9 : EFFICACITÉ DE LA BANDE RIVERAINE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DE LA NAPPE AU SITE R <sub>3</sub> .....	41
FIGURE 4.10 : ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION EN NITRATES DANS LES EAUX SOUTERRAINES DES PIÉZOMÈTRES À LA LIMITE DU COURS D'EAU (PIÉZO RIVIÈRE) ET DES TENEURS EN NITRATES DANS LE COURS D'EAU ADJACENT AU SITE H <sub>3</sub> .....	42
FIGURE 4.11 : COMPARAISON DE L'EFFICACITÉ RELATIVE ENTRE LES PIÉZOMÈTRE CHAMP ET CENTRE ET LES PIÉZOMÈTRES CENTRE ET RIVIÈRE POUR LES DIFFÉRENTS SITES À L'ÉTUDE. ....	46

FIGURE 4.12 : COMPARAISON DE L'EFFICACITÉ RELATIVE ENTRE LES PIÉZOMÈTRES CHAMP-CENTRE ET LES PIÉZOMÈTRES CENTRE-RIVIÈRE POUR LES 22 DATES POUR LESQUELS SAS A CALCULÉ UNE EFFICACITÉ SIGNIFICATIVE ET CE POUR DIFFÉRENTS TYPES DE SITES (A, H, ET R). .....	48
FIGURE 4.13 : TEMPÉRATURE EN FONCTION DES TENEURS EN NITRATES (DONNÉES GROUPÉES PAR 25).....	50
FIGURE 4.14 : NITRATES EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DE LA NAPPE (DONNÉES GROUPÉES PAR 25) .....	51
FIGURE 4.15 : NITRATES EN FONCTION DU PH (DONNÉES GROUPÉES PAR 25).....	52
FIGURE 4.16 : ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN NITRATES DE L'EAU SOUTERRAINE SUR LES CINQ ANNÉES D'ÉTUDE AU SITE A, SÉRIE 2 DE PIÉZOMÈTRES.....	63

## LISTE DES ÉQUATIONS

ÉQUATION 1 : CALCUL DE L'EFFICACITÉ DES BANDES RIVERAINES .....	29
---	----

# 1. INTRODUCTION

---

## 1.1 Problématique

### 1.1.1 Généralités

Au Canada, seulement 26% des eaux souterraines sont utilisées et au Québec 22% (Environnement Canada, 1999). Du fait que l'eau souterraine et les eaux de surface sont fortement reliées dans le cycle hydrologique, il est important de travailler à conserver toutes les sources d'eau. Et c'est la raison pour laquelle la gestion à l'échelle du bassin versant connaît de plus en plus d'adeptes. Jusqu'ici, l'eau souterraine a été très peu étudiée, car invisible aux yeux des gens, elle semblait plutôt à l'abri. Mais des cas de pollution de l'eau souterraine rapportés aux cours des dernières années ont sensibilisé les populations. Les eaux souterraines sont sensibles à la pollution ponctuelle et diffuse, et puisqu'il est tellement difficile, parfois même impossible, de restaurer un aquifère contaminé, il est impératif de protéger cette ressource des différentes sources de pollution.

Si aujourd'hui cette ressource est de plus en plus convoitée, c'est que non seulement les ressources en eau potable diminuent à cause de la pollution, mais en plus, la pression démographique dans plusieurs endroits du globe, provoque une demande de plus en plus élevée. La moitié de l'humanité manque d'eau ou ne dispose que d'eau mal assainie ; de plus, la croissance démographique accroîtra la demande en eau de 17% pour l'irrigation, de 20% pour l'industrie et de 70% pour les ménages d'ici 2015 (radio canada, 2000).

À la lumière de ces chiffres, il est évident qu'il faut préserver la qualité de l'eau disponible afin de pouvoir l'utiliser dans les décennies à venir. S'il est vrai qu'aux yeux des gens la ressource eau visible se trouve être les lacs et les rivières, il n'en demeure pas moins que l'eau souterraine représente 13% des eaux douces terrestres et qu'en plus elle représente 60% des eaux douces disponibles (Banton, 1997).

La pollution diffuse d'origine agricole est une source de pollution qui menace les eaux souterraines. Les pesticides, la contamination bactériologique et les engrais (nitrates et phosphores) sont les principaux polluants en milieu agricole. Les nitrates, du fait de leur grande solubilité, sont lessivés et s'infiltrent jusqu'à la nappe souterraine.

Les eaux souterraines et de surface contiennent naturellement des nitrates mais leur teneur n'excède pas 5 mg N/L pour les eaux de surface et encore moins pour les eaux souterraines. Les normes de teneur en nitrates pour l'eau potable sont de 10 mg N/L de  $\text{NO}_3^-$ . En milieu agricole, des concentrations supérieures sont souvent mesurées. Ces concentrations élevées peuvent avoir des répercussions sur la santé comme la méthémoglobinémie ou certaines formes de cancer lorsque les nitrates sont transformés en nitrites dans l'estomac.

Alors, pour contrer la pollution en nitrates de la nappe, il est important de contrôler les apports d'azote dans les champs en culture, mais aussi en limitant au maximum le lessivage des nitrates vers les eaux souterraines.

### **1.1.2 Région d'étude**

Pour étudier la pollution diffuse d'origine agricole, une zone à caractère fortement agricole a été choisie : le Bassin versant de la rivière Boyer. Sur ce bassin versant situé à 35 km au sud-est de la ville de Québec, neuf sites expérimentaux ont été installés. Ce petit bassin versant d'une superficie de 217 km<sup>2</sup> a une occupation du sol à 60% agricole, 40% forestier et moins de 1% urbain (MEF, 2000). Ce bassin versant permettait d'avoir une pollution essentiellement d'origine agricole puisque c'est la seule vocation du territoire. Mais en plus, ce bassin versant est connu pour ses problèmes de pollution agricole. Puisque la problématique de la pollution des eaux de surface est très étudiée, il est intéressant de mesurer l'ampleur du problème au niveau des eaux souterraines et ensuite d'étudier des solutions pouvant y remédier.

## 1.2 Objectifs et méthodologie

Cette étude s'inscrit dans la poursuite d'une étude qui a déjà fait l'objet d'une thèse de doctorat (Labchir, 1999). Au départ, l'objectif était de comparer trois types de bandes riveraines (végétation herbacée, végétation arbustive et végétation rase) quant à leur efficacité à atténuer la teneur en nitrates dans l'eau souterraine. Ensuite, l'étude a été poursuivie d'une part, pour avoir une séquence de données sur cinq années, mais aussi pour vérifier les facteurs influençant l'efficacité de ces bandes riveraines (culture adjacente, largeur de la bande, relation entre les différents paramètres, etc.).

L'efficacité des bandes riveraines est bien connue lorsqu'il s'agit de l'atténuation de la pollution agricole dans le cas des eaux de surfaces, mais plusieurs études (Correll, 1997 ; Osborne et Kovacic, 1993 ; Adiscott, 1997 ; Vézina, 1994) démontrent que cette efficacité est surtout liée à la réduction de l'érosion et aux polluants attachés aux particules comme le phosphore. D'autre part, les zones cultivées du Québec présentent des conditions pédo-climatiques très particulières (sols fréquemment acides de type podzol, températures moyennes annuelles entre 0 et 10°C, avec des extrêmes courants entre 30 et -30°C, précipitations abondantes caractérisées par la présence de neige et glace pendant près de cinq mois). L'étude du rôle atténuateur des zones riveraines des cours d'eau dans ces conditions, parmi les plus extrêmes, est donc pertinente.

Alors, pour cette étude, trois types de bande riveraines ont été comparés (arbustives, herbacées, rases) et ce, avec trois répétition. Neuf sites d'études ont donc été suivis tous les étés de 1995 à 1999.



## 2. REVUE DE LITTÉRATURE

---

Puisque le cycle de l'azote est au centre de cette étude, l'exposé des différents processus qui permettront de mieux interpréter nos résultats sera faite. Elle sera suivie de la description de la dynamique de la bande riveraine, puis des avantages et des désavantages d'utiliser une telle bande. Par la suite, l'étude de l'influence des différents paramètres mesurés dans la bande riveraine ainsi qu'un bref tour d'horizon des études dans le domaine sera réalisée.

### 2.1 le cycle de l'azote

L'azote est l'élément le plus abondant sur terre. Il représente 80% de l'atmosphère terrestre, mais de toute cette azote, seule une très petite partie se retrouve dans le sol (0,02%), le reste se trouvant dans l'atmosphère sous forme plus ou moins inerte. Dans le sol, l'azote se retrouve sous deux principales formes : l'azote organique et l'azote inorganique. La fraction organique représente la majeure partie, soit 95% (Kauark Leite,1990). L'azote inorganique est composé de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), l'azote nitreux ( $\text{NO}_2^-$ ) et l'azote nitrique ( $\text{NO}_3^-$ ). L'azote organique est composé d'une partie facilement décomposable, la biomasse vivante, et d'une partie difficilement décomposable, essentiellement l'humus. Les différentes interactions entre ces formes d'azotes sont décrites à la figure 2.1 qui représente le cycle de l'azote selon Stevenson (1982).

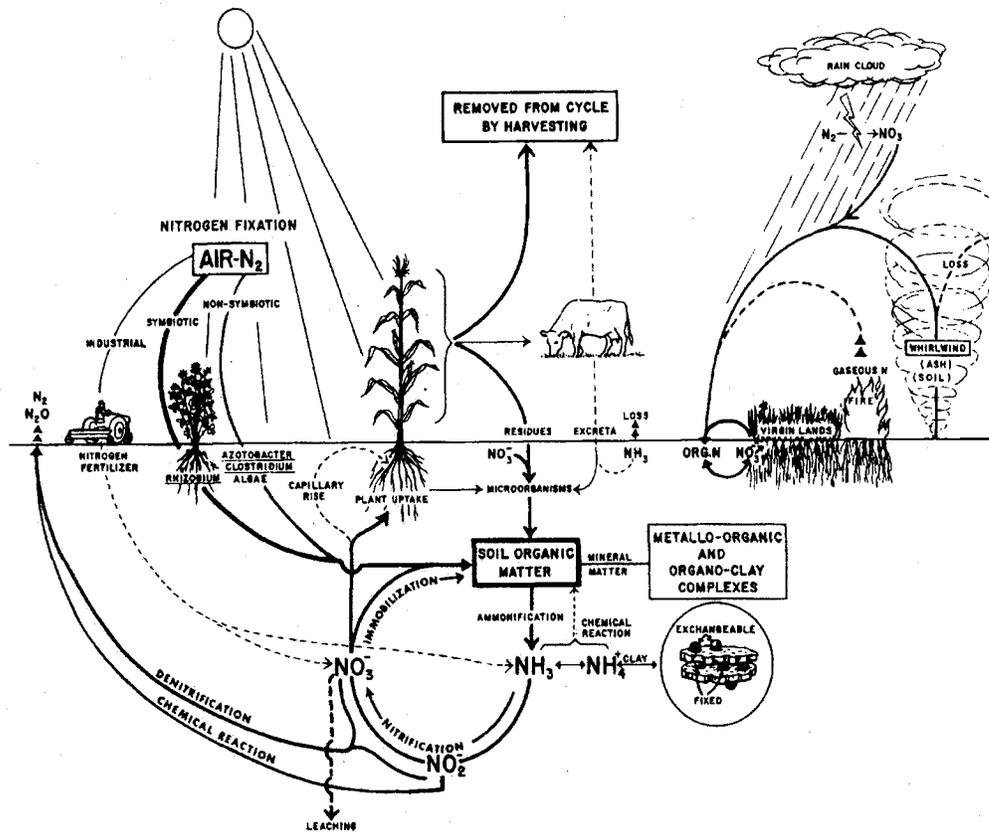


Figure 2.1 : Le cycle de l'azote (Stevenson, 1982)

Ces interactions sont nombreuses et complexes. Les principales étapes décrites ci-après sont la fixation, l'assimilation, l'ammonification, la nitrification et la dénitrification.

### 2.1.1 La fixation

La fixation est le processus de transformation de l'azote atmosphérique N<sub>2</sub> sous d'autres formes d'azote. Il existe deux formes de fixation, la fixation biologique et la fixation industrielle. La fixation biologique se fait de façon symbiotique grâce aux bactéries de genre *Rhizobium* liées aux légumineuses, et de façon non-symbiotique par les microorganismes du sol (*Azotobacter* et *Clostridium*). La fixation industrielle se fait en usine pour produire les fertilisants agricoles sous forme de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>3</sub> et NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

### 2.1.2 L'assimilation

L'assimilation est la transformation de matière azotée minérale ou organique inerte en matière vivante (Ratel, 1992). Les plantes utilisent l'azote inorganique du sol ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ), qui est immédiatement disponible, pour leur croissance. L'azote inorganique provient principalement, en agriculture, de la fertilisation chimique ou du fumier. D'autre part, les résidus de culture et les microorganismes sont responsables d'une partie de l'apport qui sera assimilé par les plantes. La fertilisation azotée est nécessaire à l'obtention d'une bonne récolte (quantité de matière sèche et teneur en protéine) toutefois, vu la disponibilité des différentes formes d'azote lors de la fertilisation, il est important de fractionner la dose totale à appliquer et de planifier les amendements à des périodes où le prélèvement par la plante sera maximum.

### 2.1.3 L'ammonification

Lorsque la matière organique du sol se dégrade, l'azote labile du sol se transforme en azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) disponible pour les plantes. Par contre, vu sa forte fixation sur les particules du sol, le  $\text{NH}_4^+$  est peu disponible. L'ion  $\text{NH}_4^+$  qui est adsorbé à la surface des particules du sol ou fixé entre les feuillets d'argile peut redevenir disponible lorsqu'il y a désorption. La désorption se produit lorsque les ions fixés sont relargués dans la solution du sol ce qui permet un prélèvement graduel par les plantes. Selon Haynes (1986) cité par Larocque (1992), une haute teneur en matière organique ou en argile dans un sol favorise l'adsorption et la fixation.

### 2.1.4 La nitrification

C'est l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrates par l'intermédiaire de bactéries nitrifiantes comme *Nitrosomonas* ou *Nitrobacter*. Il y a une étape intermédiaire, la nitritation qui consiste à transformer l'ion  $\text{NH}_4^+$  en ion  $\text{NO}_2^-$ . La nitrification étant la principale source de génération de nitrates, il importe de savoir quels sont les facteurs qui

l'influencent. Car une fois sous forme nitrates, l'azote devient très mobile et donc susceptible d'être lessivé vers la nappe.

Selon Labchir (1999), le pH, l'aération, l'humidité, la température, le potentiel d'oxydo-réduction, le rapport C/N et la concentration en  $\text{NH}_4^+$  sont les facteurs qui peuvent affecter la nitrification. Il rapporte que d'après Paul et Clark (1989), les conditions optimales pour ces paramètres sont de 30 à 35 °C pour la température, 6,6 à 8 pour le pH, une teneur en eau suffisante et une bonne aération.

### **2.1.5 La dénitrification**

La dénitrification est la voie principale par laquelle l'azote passe du sol à l'atmosphère (Larocque, 1992). La dénitrification a lieu dans les zones anaérobies du sol de façon hétérotrophe ou par voie chimique. La dénitrification hétérotrophe a lieu grâce aux bactéries hétérotrophes anaérobies facultatives du genre *Pseudomonas*. Dans cette réaction, les bactéries hétérotrophes utilisent les nitrates comme accepteur d'électron à la place de l'oxygène, le donneur d'électron étant le carbone du sol. Par voie chimique, la réduction se fait en milieu réducteur sous forme d'une réaction d'oxydo-réduction.

La dénitrification est favorisée par un faible drainage du sol, puisque lorsque le sol est mal drainé l'aération est faible. La réaction est aussi possible dans des sols bien drainés dans des micro-régions où il y a des pores mal drainés ou dans la rhizosphère. La température idéale se situe, selon Stevenson (1982), autour de 25°C et plus. En deçà de 20°C le processus diminue de beaucoup. Les bactéries dénitrifiantes étant sensibles aux concentrations élevées en ion  $\text{H}^+$  leur activité est largement réduite à des pH inférieurs à cinq (Stevenson, 1982); la dénitrification chimique est aussi favorisée en sol acide (Kauark Leite, 1990). Aussi, un sol riche en matière organique rapidement décomposable augmentera la dénitrification puisque cela va augmenter les donneurs d'électrons à cause de la plus grande quantité de carbone disponible. Par contre, même si la matière

organique diminue en profondeur, la présence des racines va jouer un rôle positif pour la dénitrification.

Il est entendu que dans les zones riveraines, il existe des cycles nitrification/dénitrification, puisqu'au cours de la saison, il y a un cycle successif de conditions anaérobies et aérobies lorsque la nappe monte (printemps, automne) et descend (été).

## **2.2 Dynamique de la bande riveraine**

La dynamique de la bande riveraine est particulière puisque c'est une zone intermédiaire tantôt saturée tantôt vadose sèche. Lorsque les différents processus du cycle de l'azote sont étudiés, il en ressort que plusieurs processus entrent en ligne de compte quand il s'agit d'expliquer la problématique de la pollution des eaux souterraines par les nitrates. Si le ruissellement et l'écoulement hypodermique peuvent être des voies de pertes importantes de l'azote dans certains sols, la perte la plus habituelle est le lessivage des nitrates vers les eaux souterraines (Kauark Leite, 1990). La figure 2.2 décrit les différents phénomènes qui ont lieu dans la zone riveraine.

Les cycles de minéralisation, immobilisation et dénitrification fortement influencés par les conditions climatiques et pédogéochimiques comme la température, le pH et l'humidité du sol (profondeur de la nappe), sont les phénomènes servant à expliquer l'atténuation des teneurs en nitrates atteignant la nappe à différents moments de l'année. D'autre part, l'assimilation par les plantes de la bande riveraine joue un rôle important.

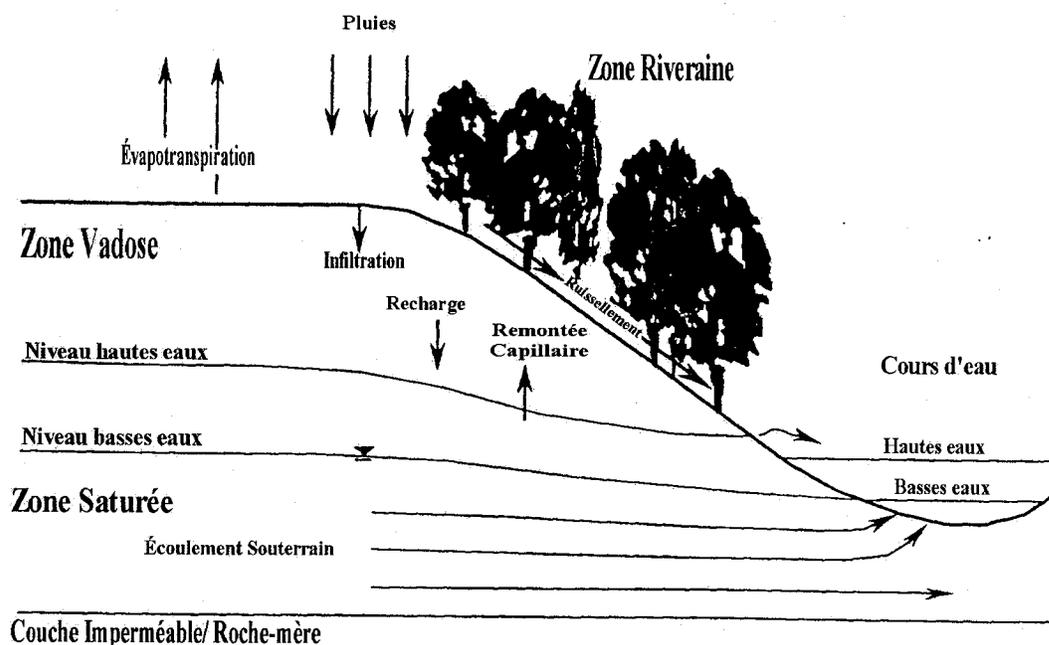


Figure 2.2 :Schéma du cycle hydrologique de la bande riveraine (traduit de Gold and Kellogg, 1997)

Les deux processus de minéralisation sont l'ammonification et la nitrification. Le processus de minéralisation aura tendance à augmenter la quantité de nitrates dans le sol et ainsi à augmenter le lessivage lors d'évènements pluvieux ou de la fonte des neiges. L'ammonification est favorisée par une bonne teneur du sol en matière organique et par la présence de microorganismes ammonificateurs. Ceux-ci étant très nombreux, les conditions climatiques ne sont pas restrictives. Par contre, la nitrification est propre à quelques genres de bactéries (*Nitrosomonas* et *Nitrobacter*) qui ont des conditions plus particulières. Finalement, il appert que la minéralisation a surtout lieu dans la couche arable du sol et que plus en profondeur, elle est favorisée dans la zone racinaire des plantes.

L'immobilisation est le processus inverse de la minéralisation. L'azote minéral est ainsi utilisé par les microorganismes du sol et il se retrouve transformé en azote organique non lessivable mais aussi non disponible pour les plantes. Le rapport C/N est le principal

facteur qui va diriger la réaction dans un sens ou dans l'autre. Un rapport C/N élevé signifie qu'il y a du carbone en excès et que donc il y aura minéralisation. Par contre, avec un rapport C/N faible, l'immobilisation va dominer. Alexander (1961) cité par Kauark Leite (1990), indique qu'un rapport C/N de 23 d'un résidu agricole est la valeur limite entre la minéralisation et l'immobilisation de l'azote minéral.

La dénitrification a été décrite plus haut comme la perte de l'azote du sol (principalement les nitrates) en azote gazeux. Ce phénomène tendrait à diminuer les teneurs en nitrates du sol et ainsi les quantités lessivées vers la nappe. La dénitrification est favorisée par des conditions anaérobies, elle apparaît généralement au printemps après les apports d'engrais et lorsque le sol se réchauffe (Kauark Leite, 1990).

Finalement, l'absorption de l'azote par les plantes va diminuer l'azote minéral du sol et par le fait même l'azote éventuellement lessivable du sol. L'absorption qui est très grande en début de saison lorsque la culture démarre, et en milieu de saison lorsque la culture est en pleine croissance, diminue grandement en fin de saison lorsque la culture est mature. Plus les plantes d'une bande riveraine sous végétation auront des besoins élevés en azote minéral, plus la demande sera grande.

### **2.3 Avantages et désavantages des bandes riveraines**

L'utilisation des bandes riveraines est maintenant reconnue comme une pratique culturale entrant dans les pratiques de conservation des sols et de l'eau. Toutefois cette pratique ne comporte pas seulement des avantages .

Tableau 2.1 : Avantages et désavantages de l'utilisation des bandes riveraines (adapté de Cook, 1997)

---

**Bienfaits environnementaux**

---

- Maintien ou augmentation de la biodiversité autour du champ
- Réduit la migration de composés toxiques vers les habitats naturels voisins
- Protège les cours d'eau des pesticides et fertilisants

---

**Désavantages agronomiques**

---

- Perte de production et de revenus
  - Perte d'efficacité dans les petits champs
  - Réduction de l'utilisation du sol
  - Perte de temps pour l'entretien
  - Augmente les risque d'invasion des mauvaises herbes
- 

L'étude du tableau 2.1 révèle que les désavantages sont surtout d'ordre monétaire et que cela va grandement influencer l'utilisation des bandes riveraines par les producteurs. Aussi, les pertes de revenus et de rendement seront réduites si la bande riveraine n'est pas trop large. De ce fait, il importe de démontrer clairement l'efficacité de ces bandes riveraines pour que les producteurs soient enclins à les utiliser.

## 2.4 Paramètres mesurés

Les facteurs mesurés dans cette étude sont la température de l'eau souterraine, la profondeur de la nappe, le pH et la teneur en nitrates. Ainsi, l'influence des trois premiers paramètres sur la teneur en nitrates de l'eau souterraine sera étudiée afin de déterminer quelle influence ils peuvent avoir sur les différents processus du cycle de l'azote et donc de la teneur finale des eaux souterraines en nitrates. De plus, les chlorures ont été mesurés lors de quatre campagnes d'échantillonnages afin de déterminer la nature de l'atténuation grâce au ratio chlorure/nitrates.

### **2.4.1 Température**

Kauark Leite (1990) écrit que la température du sol joue un rôle très important au niveau de l'ammonification et de la nitrification et que leur optimum est à 35°C. Il rapporte aussi que la nitrification croît rapidement avec l'augmentation de la température et que le gel/dégel, ainsi que les fluctuations de température activent fortement la minéralisation. La dénitrification est aussi limitée par les basses températures. Toutefois, peu d'études décrivent ces phénomènes, ainsi que l'effet du gel sur les populations microbiennes responsables de ces processus dans des climats semblables à ceux du Québec.

### **2.4.2 La profondeur de la nappe**

La profondeur de la nappe indique jusqu'à quelle profondeur le sol est aéré, elle est aussi un indice de l'humidité du sol en profondeur. Lorsque la nappe est haute le sol au dessus sera humide en raison de la remontée capillaire, ce qui favorisera la dénitrification. D'autre part, une alternance dessiccation/réhumectation va favoriser la minéralisation. De même, lorsqu'un sol est humide, il est moins aéré puisqu'il y a plus de pores occupés par l'eau. Cette abondance de zones anaérobies va favoriser la dénitrification.

### **2.4.3 Le pH**

Le pH représente la valeur négative du log de la concentration des ion  $H^+$ . Les valeurs de pH varient de zéro à 14, sept étant la valeur limite entre l'acidité et la basicité. Le pH peut influencer l'activité des bactéries dénitrifiantes ainsi que leur croissance. Selon Lowrance (1994) cité par Labchir (1999), le taux de dénitrification est plus faible dans les sols acides que dans les sols alcalins.

#### **2.4.4 La teneur en nitrates**

La teneur en nitrates de l'eau souterraine permet de vérifier quelle quantité de nitrates lessivés se retrouve dans la nappe superficielle. Labchir (1999) rapporte que Chalamet (1985) a décrit la présence de nitrates comme un facteur important qui affecte la production des enzymes réductrices (réductases) au niveau du processus de dénitrification. Donc, la présence d'une plus grande teneur en nitrates induirait une production de réductases plus grande.

#### **2.4.5 Les Chlorures**

Selon Mengis et al. (1999) et Cey et al. (1999) l'utilisation du ratio  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$  et de l'abondance naturelle des isotopes  $^{15}\text{N}$  et  $^{18}\text{O}$  dans les  $\text{NO}_3^-$  permettent de déterminer les processus responsables de l'atténuation des nitrates contenus dans l'eau souterraine traversant une bande riveraine. En théorie, l'utilisation du rapport  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$  permet de déterminer si l'atténuation obtenue est due à une disparition des nitrates ou à une dilution des nitrates.

### **2.5 État de la recherche**

Les nappes d'eau souterraine qui sont en relation avec les cours d'eau contribuent généralement de façon significative au régime hydraulique de ceux-ci (Lowrance et Pionke, 1989). Lors de l'échange nappe-rivière, les écosystèmes riverains des cours d'eau influencent les conditions hydrologiques de ces milieux (recharge/décharge de l'aquifère) et celles des concentrations des substances présentes (Bren, 1993; Osborne et Kovacic, 1993). La migration au travers de la zone riveraine du cours d'eau conduit à une atténuation des nitrates qui est fonction de plusieurs paramètres. Peu d'études ont porté sur le rôle atténuateur des zones riveraines sur les concentrations en nitrates parvenant aux cours d'eau. Bien que la réduction des nitrates soit plus élevée au niveau des premiers mètres à travers la zone riveraine (Haycock et Pinay, 1993; Peterjohn et Correll, 1984), la largeur optimale de cette zone dépend beaucoup du type de végétation et de nombreux

autres facteurs. Parmi les processus d'atténuation des nitrates rencontrés le plus souvent dans la littérature, il y a la dénitrification ou l'immobilisation par les microorganismes et le prélèvement par les plantes. Selon Groffman et al. (1992), le prélèvement par les plantes est le principal facteur d'atténuation des nitrates durant la saison de croissance. Par contre, durant la saison dormante, la remontée du niveau de la nappe permet une atténuation par dénitrification et immobilisation microbienne. Toutefois, Lowrance (1992) a démontré que la dénitrification a surtout lieu dans les 10 premiers centimètres du sol et que le potentiel de dénitrification dans la zone saturée est très faible sauf si la zone saturée se trouve au plus bas à 60 cm de la surface du sol. Aussi pour séparer les phénomènes, plusieurs études ont été menées (Haycock et Pinay, 1993; Simmons et al., 1992) durant l'hiver en zone tempérée pour ne pas avoir à tenir compte du prélèvement par les plantes.

Malgré toutes ces recherches, peu de résultats montrent quelle est la part exacte de chacun de ces processus. La raison est qu'il y a un manque de connaissances sur les mécanismes de base impliqués dans ces processus et le contrôle sur le taux de chaque processus (Correl, 1997). De ce fait, plusieurs méthodes sont utilisées pour déterminer la présence ou la probabilité d'un phénomène plutôt que d'un autre. La classe de drainage des sols (Simmons et al. 1992), la teneur en matière organique (Simmons et al., 1992 ; Addy et al. 1999), la présence d'enzymes dénitrifiantes (Groffman et al, 1992), l'abondance naturelle des isotopes (Mengis et al., 1999 ; Cey et al., 1999), l'aération du sol (Correl et al., 1997), la teneur en eau du sol (Groffman et al., 1988), la dynamique de la nappe (Addy et al. 1999), les rapports  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$  et  $\text{NO}_3^-/\text{Br}^-$  (Nelson et al., 1995 ; Mengis et al., 1999) sont autant de méthodes utilisées pour déterminer la présence de phénomènes microbiologiques comme l'immobilisation et la dénitrification.

Si les bandes riveraines font l'unanimité quant à leur capacité à atténuer les nitrates, il existe quelques problématiques qui sont soulevées par les chercheurs. D'une part, la question est de savoir si les plantes peuvent au bout d'un certain temps devenir saturées et ne plus absorber les nitrates ; d'un autre côté, il a été démontré que les fertilisants atteignant les eaux souterraines stimulent la croissance des plantes (Ehrenfeld, 1987) et

des microorganismes (Smith et Duff, 1988) et augmentent ainsi cette capacité à atténuer les concentrations en nitrates (Groffman et al. 1992).

Aussi, certaines études (Simmons, 1992 ; Nunez Delgado et al., 1997) ont décelé que des écoulements préférentiels pouvaient nuire à l'efficacité des bandes riveraines en laissant s'infiltrer, directement vers la nappe, des eaux de ruissellement riches en nitrates, sans que celles-ci aient au préalable traversé la bande riveraine.

Plusieurs études ont aussi été menées pour déterminer l'influence du type de végétation sur la capacité des bandes riveraines à atténuer les nitrates. Haycock et Pinay (1993) ont rapporté que des bandes riveraines à végétation arbustives (peupliers) étaient plus efficaces pour atténuer les teneurs en nitrates des eaux souterraines que des bandes riveraines à végétation herbacée et ce particulièrement en hiver. Par contre, Correll (1997) a trouvé que les deux types de bandes riveraines avaient une efficacité semblable.

À la lumière de toutes ces études, il semble qu'une multitude de facteurs entre en ligne de compte dans la détermination de l'efficacité des bandes riveraines. Il semble important de vérifier les différences entre la végétation herbacée et arbustive tout en tenant compte des facteurs qui ont été étudiés et qui semblaient avoir un effet sur la capacité d'atténuation des bandes riveraines

Dans la présente étude, il semble important de mesurer et de comparer l'efficacité de bandes riveraines herbacées et arbustives tout en comparant la performance de celles-ci à celle d'une bande riveraine témoin (végétation rase). Ceci a été réalisé dans un climat extrême, avec des étés chauds et des hivers froids où la température est un facteur limitant à tous les processus, que ce soit le prélèvement par les plantes (saison de dormance) ou les processus microbiologiques. Ceci doit être obtenu en utilisant des bandes riveraines assez larges pour qu'il y ait une atténuation mais pas trop larges afin de ne pas occasionner trop de pertes pour les agriculteurs.

### 3. MATÉRIEL ET MÉTHODE

---

#### 3.1 Localisation des sites expérimentaux

Afin de quantifier l'atténuation des nitrates et de comparer le fonctionnement de zones riveraines de différents types, neuf sites ont été sélectionnés (Labchir, 1999) dans le bassin versant de la Rivière Boyer, à 35 km au sud-est de la ville de Québec (Québec, Canada) (Figure 3.1). Ce petit bassin versant d'une superficie de 217 km<sup>2</sup> a une occupation du sol à 60% agricole, 40% forestier et moins de 1% urbain.

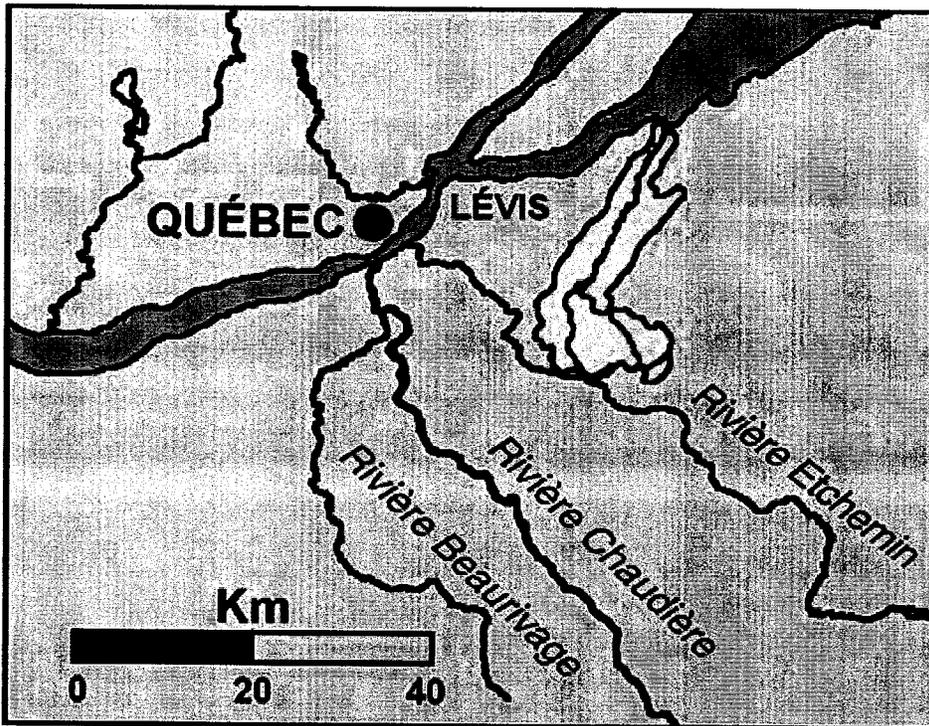


Figure 3.1 : Situation géographique du bassin versant.

De ces neuf sites, trois (A1 à A3) possèdent une végétation arbustive, trois autres (H1 à H3) présentent une végétation herbacée, les trois derniers sites (R1 à R3) possédant une végétation rase (graminées communes), contrôlée lorsque nécessaire par une coupe d'entretien afin de respecter les critères de l'étude. Il est à noter que les sites arbustifs ne contiennent pas d'aulne, reconnu comme un arbuste favorisant la fixation de l'azote. Les largeurs des zones riveraines étudiées sont comprises entre 3 et 6 mètres afin de tester, d'une part des largeurs de bandes actuellement pratiquées et technico-économiquement acceptées par les agriculteurs, et d'autre part des bandes d'une largeur suffisante pour pouvoir quantifier l'efficacité de ces zones.

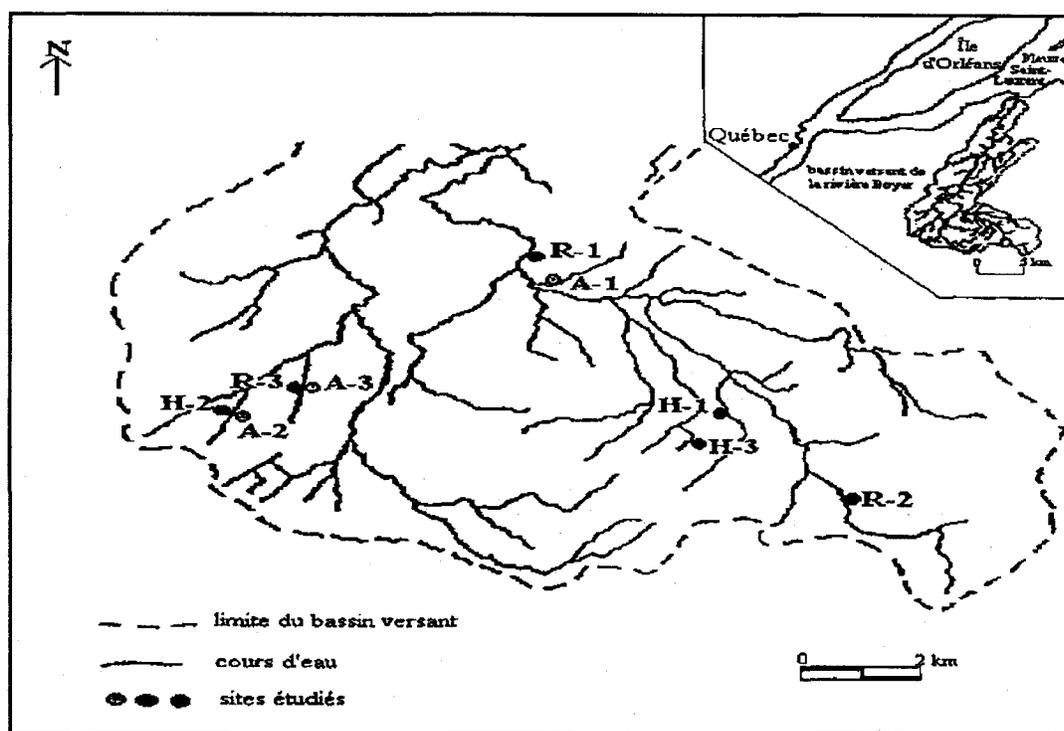


Figure 3.2 : Emplacement des sites expérimentaux.

## 3.2 Dispositif expérimental

Deux séries de trois puits d'observation (avec tubage en PVC) ont été installés sur chaque site, après forage à la tarière à main à une profondeur moyenne de 1,7 m. Chaque série comprend un puits d'observation à la limite entre le champ cultivé et la zone riveraine, un deuxième au milieu de la zone riveraine, et un troisième près de la limite entre la zone riveraine et le cours d'eau, à environ 0,5 m de ce dernier (Figure 3.3). La surface piézométrique de la nappe et le niveau de l'eau dans le cours d'eau sont environ un mètre en dessous du niveau du sol (champ et zone riveraine) durant la période de culture. Au printemps, lors de la fonte des neiges, le niveau des cours d'eau peut affleurer et même recouvrir le sol.

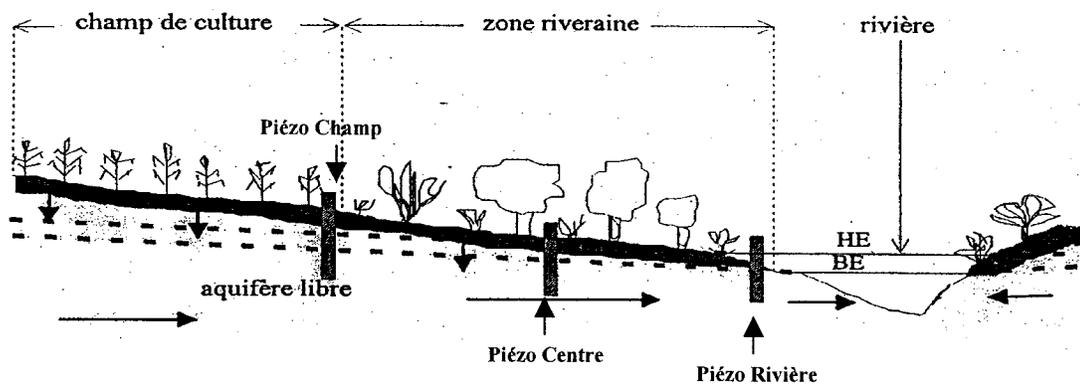


Figure 3.3 : Localisation des piézomètres dans la bande riveraine.

## 3.3 Caractéristiques des sites

Au delà des caractéristiques chimiques du sol et des processus biochimiques qui s'y déroulent, le lessivage des nitrates est un processus qui dépend fortement des caractéristiques physiques du sol telles que la conductivité hydraulique et la porosité.

Lors des premiers travaux portant sur cette problématique (Labchir, 1999), une étude complète a été effectuée sur les caractéristiques des sites étudiés. Voici le tableau résumant les résultats obtenus par Labchir (1999) pour les caractéristiques hydrodynamiques des différents sites.

Tableau 3.1 : Caractéristiques hydrodynamiques des sites (A : végétation arbustive ; H : végétation herbacée ; R : végétation rase)

Site	Type de sol	K (m/s)	Vp (m/s)	*i mesuré	n% Calculé	n% **mesuré	Qn (m <sup>3</sup> /j)	Qr (m <sup>3</sup> /j)
A1	loameux	1,56 E-05	1,9 E-05	0,27	2,3	3,5	0,218	5,7 E4
A2	loam sableux	4,26 E-05	1,7 E-05	0,22	5,5	4,7	0,081	9,5 E2
A3	loam sablo-graveleux	4,60 E-05	4,6 E-06	0,05	5,0	5,3	0,025	1,3 E3
H1	loam sablo-graveleux	1,41 E-04	1,7 E-05	0,09	7,4	4,8	0,099	1,2 E4
H2	loam sableux	2,76 E-05	1,3 E-05	0,23	5,0	4,7	0,055	9,5 E2
H3	loam sablo-graveleux	5,56 E-05	1,4 E-05	0,15	5,9	6,5	0,094	1,9 E3
R1	loam sablo-graveleux	3,53 E-05	9,4 E-06	0,11	4,2	3,2	0,131	6,7 E4
R2	loam pierreux	6,25 E-05	2,4 E-06	0,02	5,2	5,9	0,065	3,3 E4
R3	loam sableux	3,10 E-05	2,2 E-06	0,06	8,4	5,4	0,020	1,3 E3

(\*i : mesuré sur le terrain ; \*\*n : mesurée au laboratoire)

Vp : vitesse de pore (mètre/jour) ;

K : conductivité hydraulique moyenne (mètre/jour)

i : gradient hydraulique moyen de la nappe ;

n : porosité cinématique ;

Qn : débit unitaire moyen de la nappe (mètre cube/jour)

Qr : débit d'écoulement moyen de la rivière (mètre cube/jour)

Pour mesurer les caractéristiques physiques du sol de chaque site, Labchir (1999) a prélevé des échantillons de sol non remaniés à différentes profondeurs à proximité des puits d'observation.

La conductivité hydraulique a été mesurée au laboratoire grâce à un dispositif expérimental basé sur la loi de Darcy. La porosité totale et la porosité efficace ont été mesurées sur les mêmes échantillons de sol. La porosité totale étant égale au rapport du volume des vides sur le volume total de l'échantillon et la porosité efficace étant le rapport du volume d'eau gravitaire contenu dans un échantillon saturé par rapport au volume total. Ces deux porosités ont permis de calculer la porosité cinématique.

Pour les paramètres reliés à l'écoulement des eaux souterraines, des expérimentations ont été effectuées sur le terrain pour déterminer la direction et le sens de l'écoulement, la vitesse d'écoulement, le gradient hydraulique et le débit unitaire d'écoulement de la nappe aquifère le long de la berge de la rivière. Une injection de bromure a été effectuée pour le traçage des écoulement d'eau souterraine. Cela a permis d'obtenir la vitesse de pore et de calculer la vitesse moyenne d'écoulement des eaux souterraines à chaque site. D'autre part, des relevés piézométriques ont permis de mesurer le gradient hydraulique. L'épaisseur de la nappe a aussi été mesurée sur chacun des neuf sites, permettant ainsi de calculer le débit unitaire moyen. Finalement, le débit d'écoulement moyen du cours d'eau au droit de chaque site a été calculé en multipliant la vitesse d'écoulement du cours d'eau par sa section.

D'autre part, le paramètre de différenciation des sites utilisés pour cette étude est la végétation recouvrant chacune des bandes riveraines. Cela a permis de regrouper les sites en trois classes : végétation arbustive, végétation herbacée et végétation rase (voir la description sommaire des espèces végétales retrouvées sur chaque type de site au Tableau 3.2).

Tableau 3.2 : Espèces végétales des différents sites expérimentaux (Labchir, 1999)

Type de site	Végétation dominante
A (végétation arbustive)	Myrica gale, Acer negundo, Cornus stolonifera, Salix interior, Spirea latifolia, Prunus virginiana
H (végétation Herbacée)	Vicia cracca, Eupatorium maculatum, Solidago canadensis, Aster puniceus, Cirsium arvense, Artemisia vulgaris, Solidago graminifolia, Impatiens capensis, Phalaris arundinacea, Vicia sativa, Solidago uliginosa
R (végétation Rase)	Graminées communes

Sans connaître la profondeur de racines des espèces citées plus haut, il est possible de faire une estimation et de dire que la profondeur des racines pour la végétation rase est de moins d'un mètre, qu'elle se situe entre un mètre et un mètre et demi pour la végétation herbacée et qu'elle est de plus d'un mètre et demi pour la végétation arbustive.

Les profils topographiques des figures 3.4, 3.5, 3.6 et 3.7 combinés à l'estimation de la profondeur des racines permet de voir en quels points les racines sont en contact avec l'eau souterraine.

En sachant que ces profils représentent le niveau de la nappe à une période de la saison, il faut aussi tenir compte du fait que la nappe sera plus haute au printemps et à l'automne (voir Annexes C). Toutefois, en tenant compte, de la profondeur des racines énoncée plus haut, il est possible de dire que les racines de la végétation rase seront rarement en contact avec la nappe d'eau souterraine. Par contre, la végétation herbacée et arbustive sera en contact avec la nappe et pourront ainsi prélever les nitrates de l'eau souterraine. Aussi, les racines seront plus en contact avec la nappe d'eau souterraine entre le piézomètre deux et le piézomètre trois.

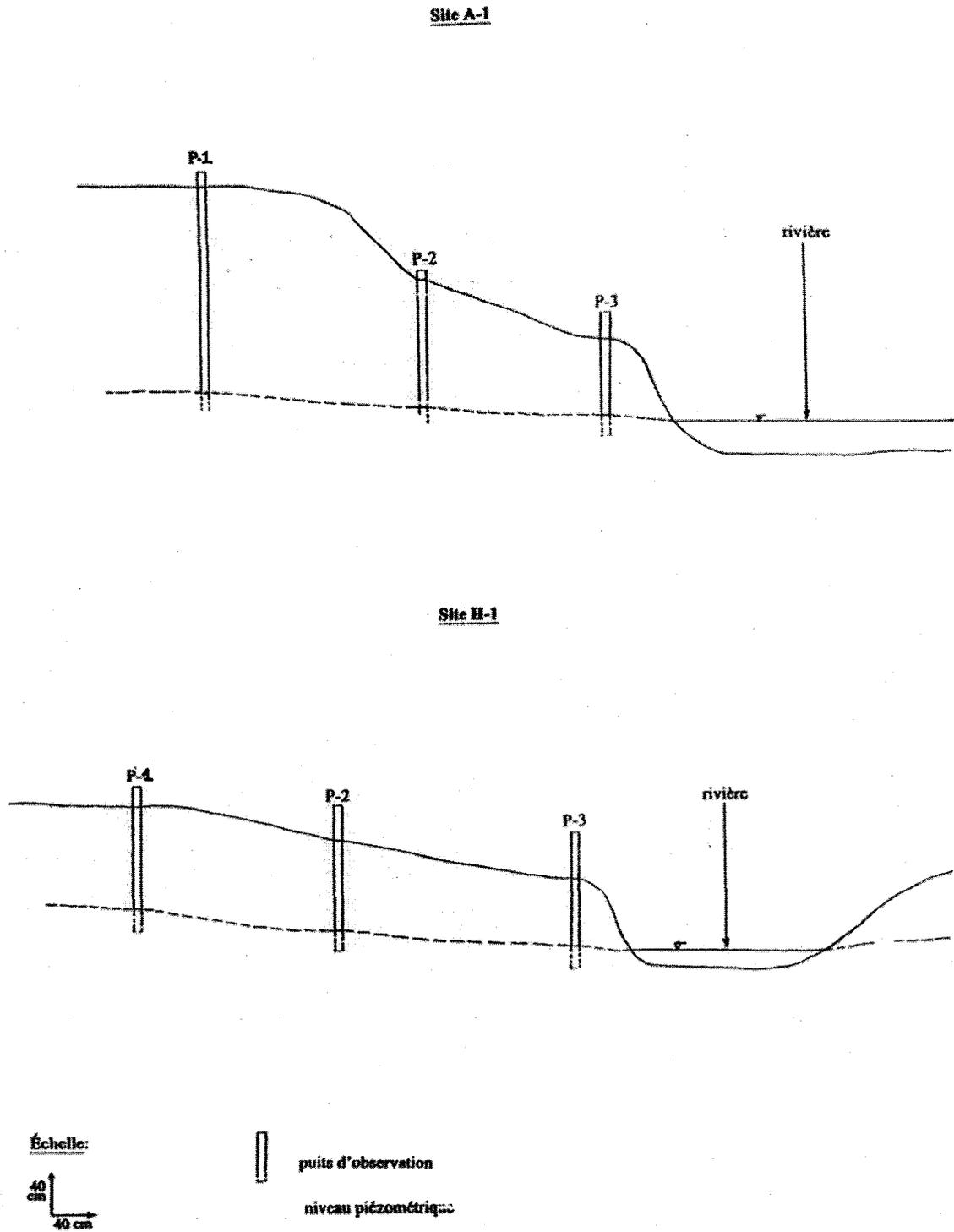
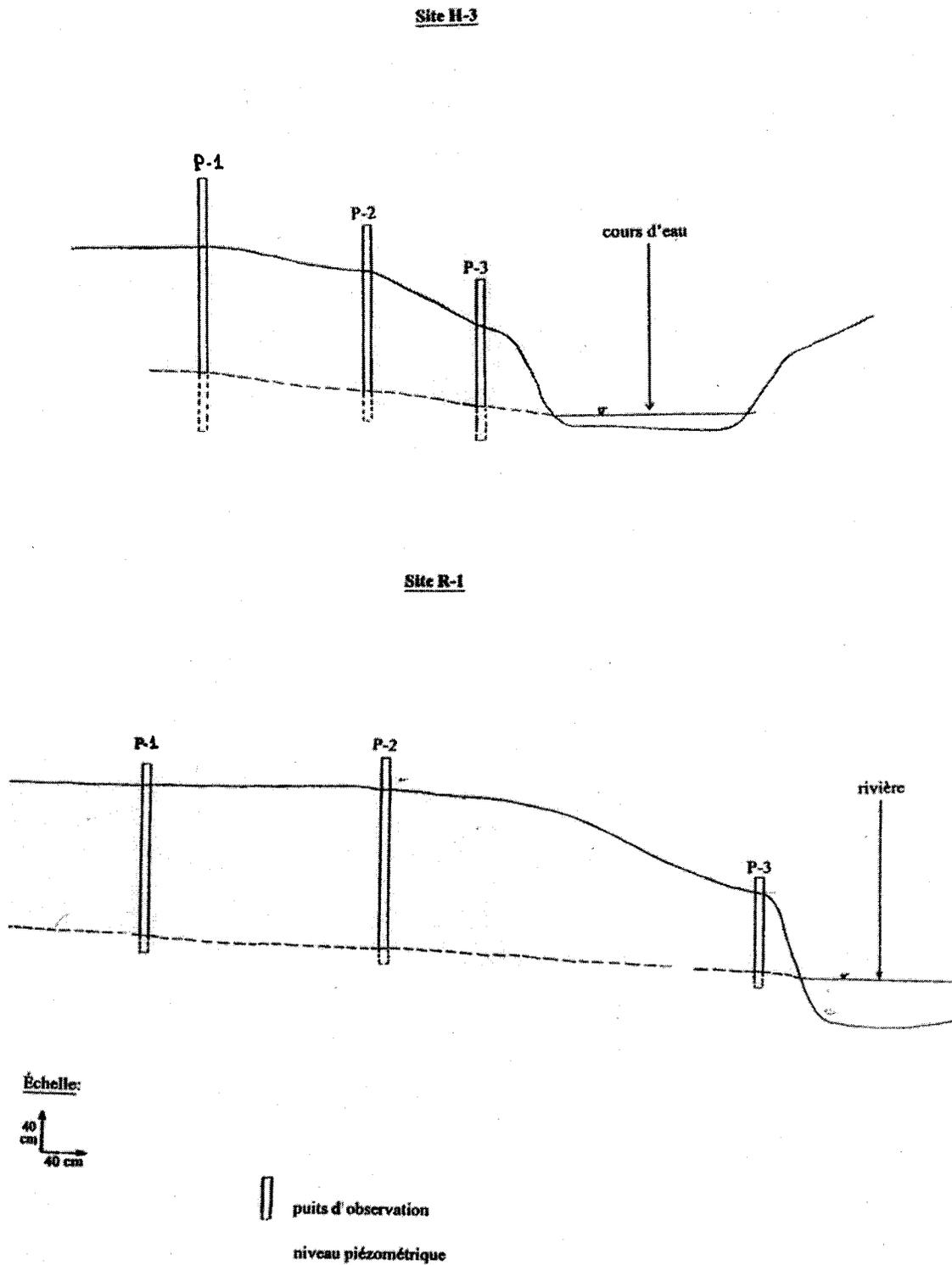


Figure 3.4 : Profil topographique transversal des sites à l'étude (sites A<sub>1</sub> H<sub>1</sub>)

Figure 3.5 : Profil topographique transversal des sites à l'étude (sites H<sub>3</sub> et R<sub>1</sub>)

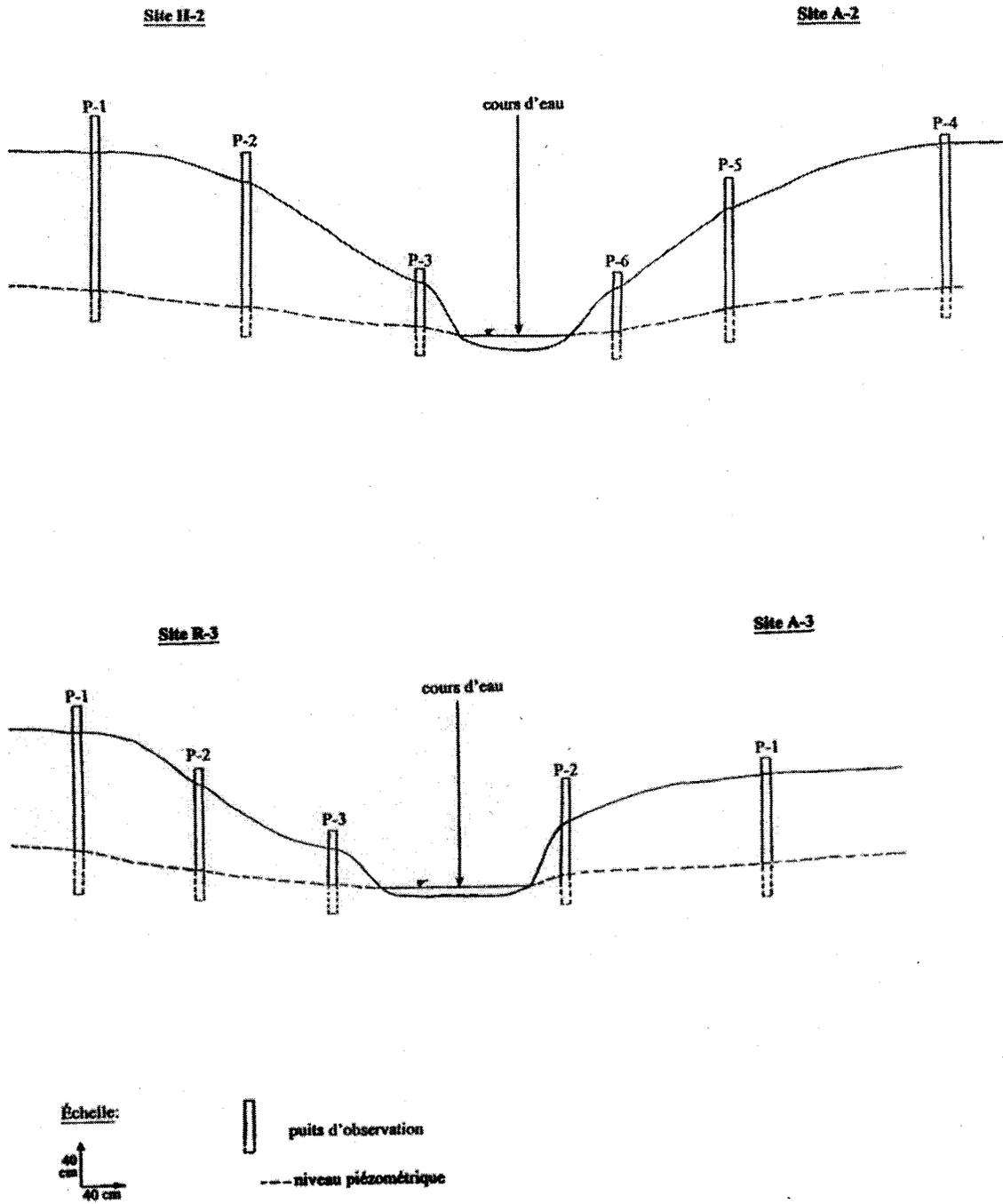


Figure 3.6 : Profil topographique transversal des sites à l'étude (sites H<sub>2</sub>, A<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> et A<sub>3</sub>)

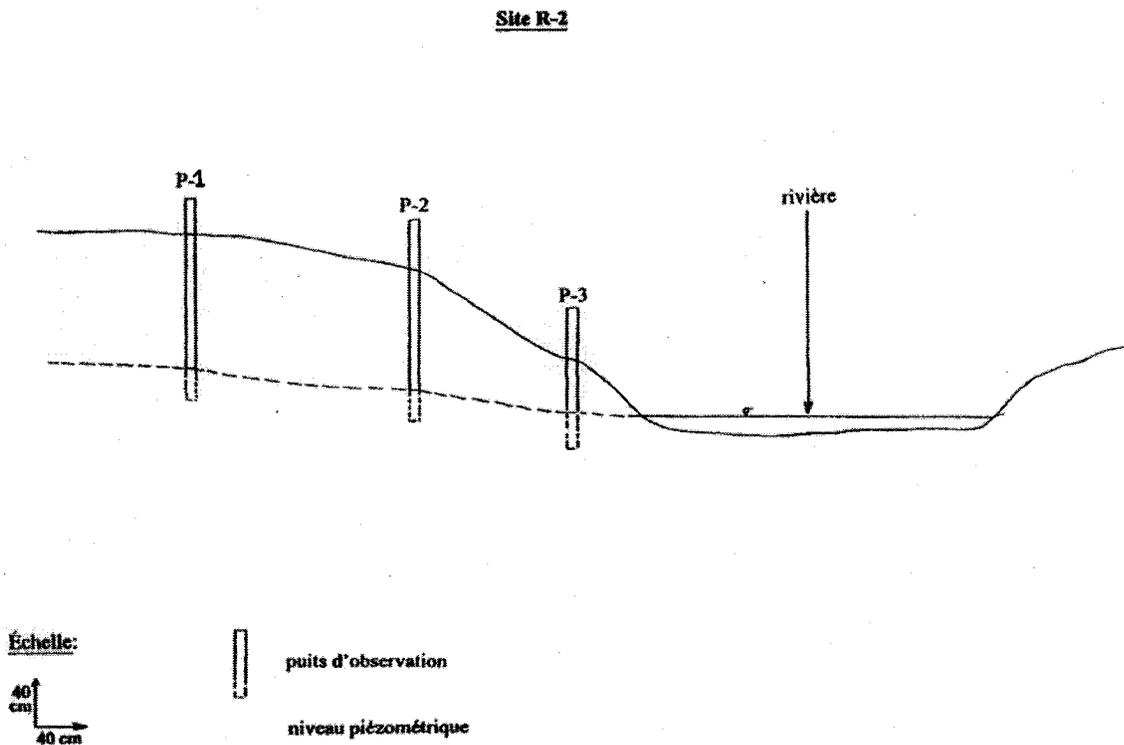


Figure 3.7 : Profil topographique transversal des sites à l'étude (site R<sub>2</sub>)

Après l'étude menée par Labchir, le prolongement de l'expérimentation est intéressant d'une part, car il est reconnu que l'efficacité des bandes riveraines varie avec le temps lorsque la végétation pérenne vieillit et n'est pas récoltée. D'autre part, cela permet d'utiliser la séquence de résultats sur cinq ans pour vérifier des relations qui ne l'avaient pas été. Des relations entre les différents paramètres ayant un effet sur l'efficacité ont été recherchés. Une nouvelle approche a aussi été utilisée pour étudier l'importance de la largeur de la bande riveraine. Finalement, une étude a été effectuée sur l'effet de la culture adjacente sur l'efficacité.

### 3.4 Échantillonnage

Pour chaque campagne, des échantillons d'eau souterraine ont été prélevés, à intervalles d'environ trois à quatre semaines, sur tous les puits d'observation. En parallèle aux

mesures de concentrations en nitrates, d'autres paramètres ont aussi été mesurés tels que, pour la nappe, la température, le pH et le niveau piézométrique. Par ailleurs, Labchir a mesuré pour ses années de recherche, le taux d'humidité et le pourcentage de matière organique sur les échantillons de sol qui étaient prélevés à différentes profondeurs (10, 30 et 70 cm) à proximité de chaque puits d'observation.

Les échantillons d'eau récupérés dans des récipients plastiques de 125 ml ont été transportés dans une glacière et placés dans une chambre froide (à 4°C) jusqu'à leur analyse réalisée dans les plus brefs délais. Les concentrations en nitrates ont été mesurées par méthode potentiométrique à l'aide d'une électrode spécifique pour nitrates. La préparation des échantillons avant analyse consistait à prélever 50 ml de l'échantillon prélevé sur le terrain avant d'ajouter 1ml d'ISA (Ion Strength Adjuster) pour éviter les variations ioniques. D'autre part, une courbe de calibration était effectuée pour chaque série de mesure, à l'aide de solutions étalons. De même, les pH ont été mesurés à l'aide d'une électrode à pH Orion. Les chlorures ont été mesurés de façon colorimétrique à l'aide du Technicon.

### 3.5 Statistiques

Le logiciel SAS (SAS institute inc., version 6.12) a été utilisé pour traiter les données obtenues sur le terrain. Des analyses de variances et des corrélations ont été effectuées pour voir les relations existant entre les différents paramètres mesurés ainsi que la variations des nitrates par rapport à ces mêmes paramètres, mais aussi les variations au cours des années d'étude pour ainsi pouvoir dégager une tendance.

Trois traitements ont été considérés, soit A (végétation arbustive), H (végétation herbacée) et R (végétation rase ou contrôlée). D'autre part, il y a trois répétitions, c'est-à-dire trois sites (1, 2 et 3) pour chaque traitement; ce qui donne les sites A1, A2 et A3; H1, H2 et H3; ainsi que les sites R1, R2 et R3.

Sur chaque site (réplicat), il y a deux séries de piézomètres disposées de façon parallèle; ce qui, dans les analyses statistiques, est considéré comme le type de piézomètre (1 et 2). Ensuite, pour chaque type de piézomètre, il y a trois piézomètres qui se trouvent à trois positions différentes : piézo champ (1), piézo centre (2) et piézo rivière (3).

## 4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

---

Les teneurs en nitrates mesurées lors des cinq années d'études ont, en premier lieu, permis de déterminer l'efficacité des trois types de bande riveraine à l'étude. Ces résultats ont aussi permis de déterminer l'effet de la largeur de la bande riveraine ainsi que l'effet des cultures adjacentes sur la variation des teneurs en nitrates de l'eau souterraine. Il sera aussi question des autres paramètres qui ont été mesurés pour tenter d'expliquer la part des différents processus dans la diminution ou l'augmentation des teneurs en nitrates, ainsi que la relation qui existe entre ces différents paramètres. Puis, la tendance générale sera dégagée des résultats obtenus sur les cinq années d'étude. Et pour chaque partie, des analyses statistiques permettront de confirmer les résultats obtenus.

### 4.1 Efficacité

Les teneurs en nitrates des eaux souterraines ayant été mesurées dans les piézomètres de tous les sites, l'efficacité a été calculée de façon relative. Pour cela, les teneurs en nitrates des piézomètres situés à la limite champ-bande riveraine (c) ont été comparés aux concentrations retrouvées au centre de la bande (m) et à la limite du cours d'eau (r).

Équation 1 : Calcul de l'efficacité des bandes riveraines

$$E_1 = 1 - \frac{N_m}{N_c} \qquad E_2 = 1 - \frac{N_R}{N_m} \qquad E_T = 1 - \frac{N_R}{N_c}$$

$E_1$  : efficacité relative en % de la bande riveraine entre le piézo champ et le piézo milieu ;

$E_2$  : efficacité relative en % de la bande riveraine entre le piézo milieu et le piézo rivière ;

$E_T$  : efficacité globale en % de la bande riveraine entre le piézo champ et le piézo rivière ;

$N_c$  : Teneur en nitrates de l'eau souterraine au piézomètre champ ;

$N_m$  : Teneur en nitrates de l'eau souterraine au piézomètre milieu ;

$N_R$  : Teneur en nitrates de l'eau souterraine au piézomètre rivière ;

De cette façon, une efficacité positive est obtenue lorsque la teneur en nitrates diminue du champ au cours d'eau et une efficacité négative lorsqu'il y a augmentation des teneurs en nitrates dans l'eau souterraine, du champ vers la rivière.

Donc, d'une part, une efficacité relative est calculée en comparant l'efficacité dans la première partie de la bande riveraine avec  $E_1$  et dans la deuxième partie de la bande avec  $E_2$ . Et d'autre part, une efficacité globale de la bande est calculée avec  $E_t$  qui permet de voir la variation entre le piézomètre champ et le piézomètre rivière.

#### 4.1.1 Végétation herbacée

Sur ces sites, les herbes sont plus ou moins hautes (tableau 3.2) et recouvrent toute la surface de la bande riveraine. L'avantage d'une telle bande riveraine par rapport aux deux autres types, réside dans le fait qu'il y a une couverture du sol qui permet de capter les eaux de ruissellement et de favoriser l'infiltration uniforme plutôt qu'une infiltration par des écoulements préférentiels. D'autre part, la couverture du sol par les racines au niveau des premiers centimètres du sol est plus grande car il y a beaucoup de racines fines. La décomposition des racines qui meurent et qui sont renouvelées en permanence augmente la production de matière organique, ce qui favorise l'activité des microorganismes. Puisque cette étude a été menée exclusivement durant la saison de croissance (de mai à octobre), il est probable que le prélèvement par les plantes est responsable en bonne partie de l'efficacité de la bande riveraine. Sur une base annuelle, il y a généralement une diminution des teneurs en nitrates dans l'eau souterraine, de même que sur la base des cinq années d'études (Fig. 4.1 et Fig. 4.4). Les flèches pointées vers le haut ( $\uparrow$ ) indiquant une augmentation des teneurs en nitrates et donc une efficacité négative.

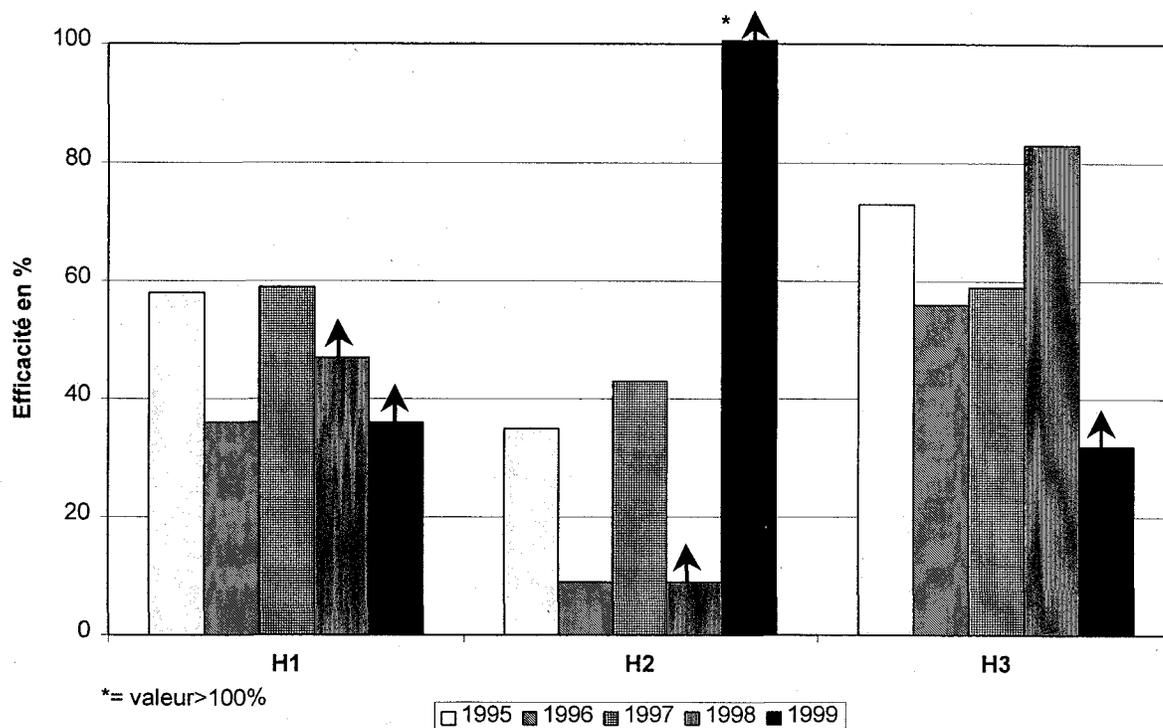


Figure 4.1 : Efficacité moyenne de la bande riveraine pour les cinq années d'étude aux sites à végétation herbacée (H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> et H<sub>3</sub>).

#### 4.1.2 Végétation arbustive

Il est à noter que les sites arbustifs ne contiennent pas d'aulne, reconnu comme des arbustes favorisant la fixation de l'azote. Ces sites ont l'avantage de posséder une végétation ayant des racines profondes qui vont se rendre jusqu'à la nappe afin d'y puiser des nutriments. La grande taille des racines par rapport à celles de la végétation herbacée suppose qu'une plus grande partie de l'efficacité provient du prélèvement par les plantes. Par contre, ce n'est pas le seul processus qui entre en ligne de compte. Le retour au sol des feuilles va créer une litière abondante au sol ce qui favorise l'augmentation de la matière organique. Comme pour les sites à végétation herbacée, sur une base annuelle, il y a généralement une diminution des teneurs en nitrates dans l'eau souterraine, de même que sur la base des cinq années d'études (Fig. 4.2).

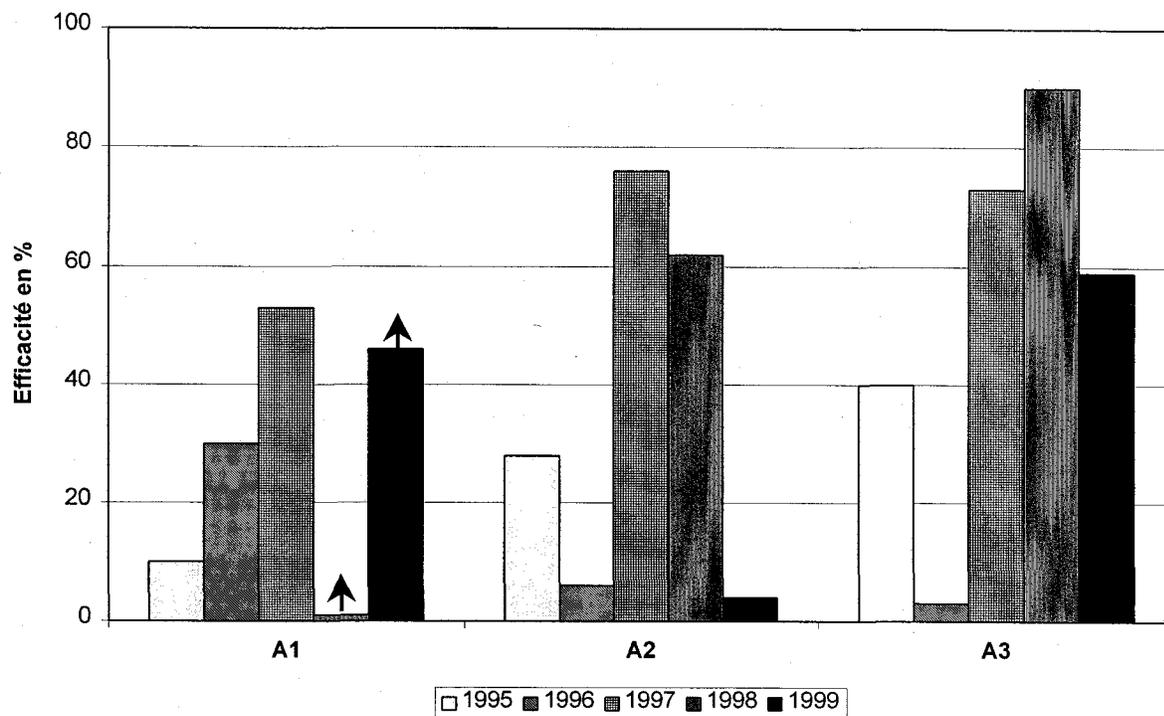


Figure 4.2 : Efficacité moyenne de la bande riveraine pour les cinq années d'étude aux sites à végétation arbustive (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> et A<sub>3</sub>).

### 4.1.3 Végétation rase

Par contre, sur les sites à végétation rase, la teneur en nitrates augmente (Figure 4.3). Ces résultats peuvent s'expliquer d'une part par l'infiltration des eaux de ruissellement celui-ci augmentant lorsque la végétation est coupée. D'autre part, cela peut aussi s'expliquer par la minéralisation puisque lorsque la végétation en surface est coupée, les herbes coupées sont enlevées mais les racines restent dans le sol et sont dégradées par les microorganismes. Puisque la nitrification est inhibée sous la végétation (Stevenson, 1982), il faut penser qu'en présence de la végétation rase, il y a bien plus de nitrification que pour les deux autres types de sites.

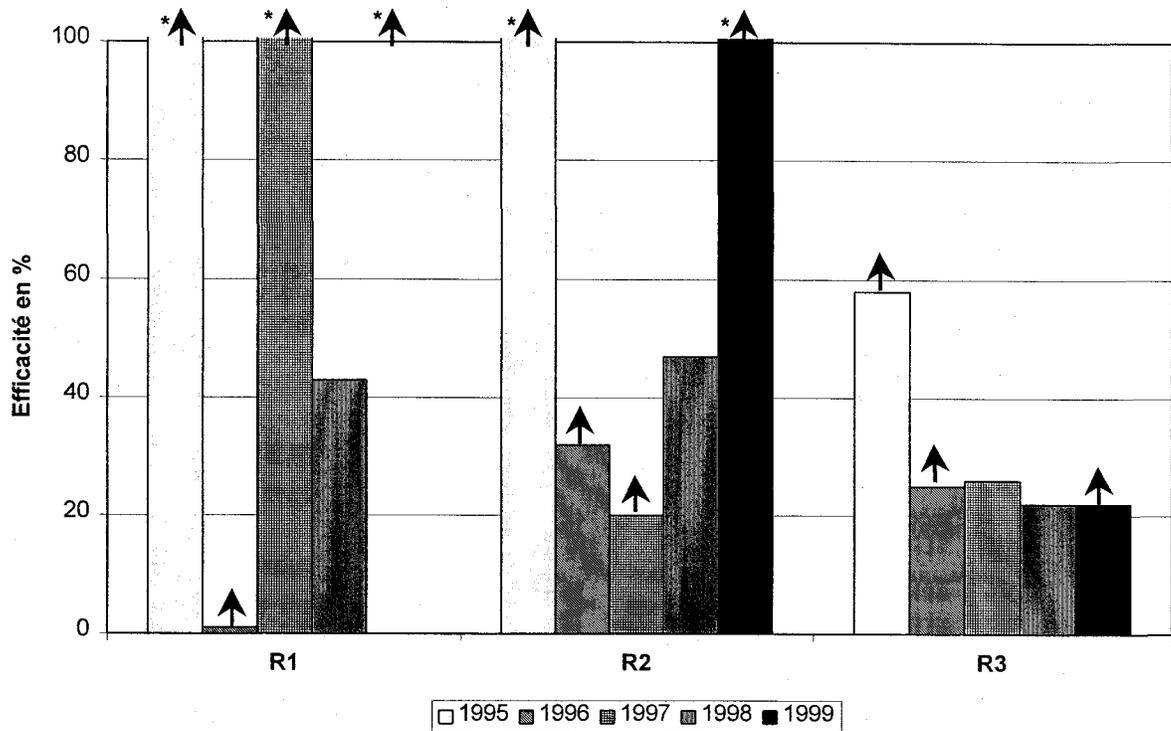


Figure 4.3 : Efficacité moyenne de la bande riveraine pour les cinq années d'étude aux sites à végétation rase ( $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ ).

Après les cinq années d'études, les conclusions de Labchir (1999) ne sont confirmées qu'en partie car la tendance quant à l'efficacité des différentes bandes riveraines semble s'inverser sur les dernières années d'études par contre la tendance générale est la même (Fig. 4.4). Aussi, une grande variation inter-annuelle est remarquée pour un même type de site ce qui laisse entendre que d'autres paramètres, en plus du type de végétation, jouent un rôle dans l'efficacité de la bande riveraine.

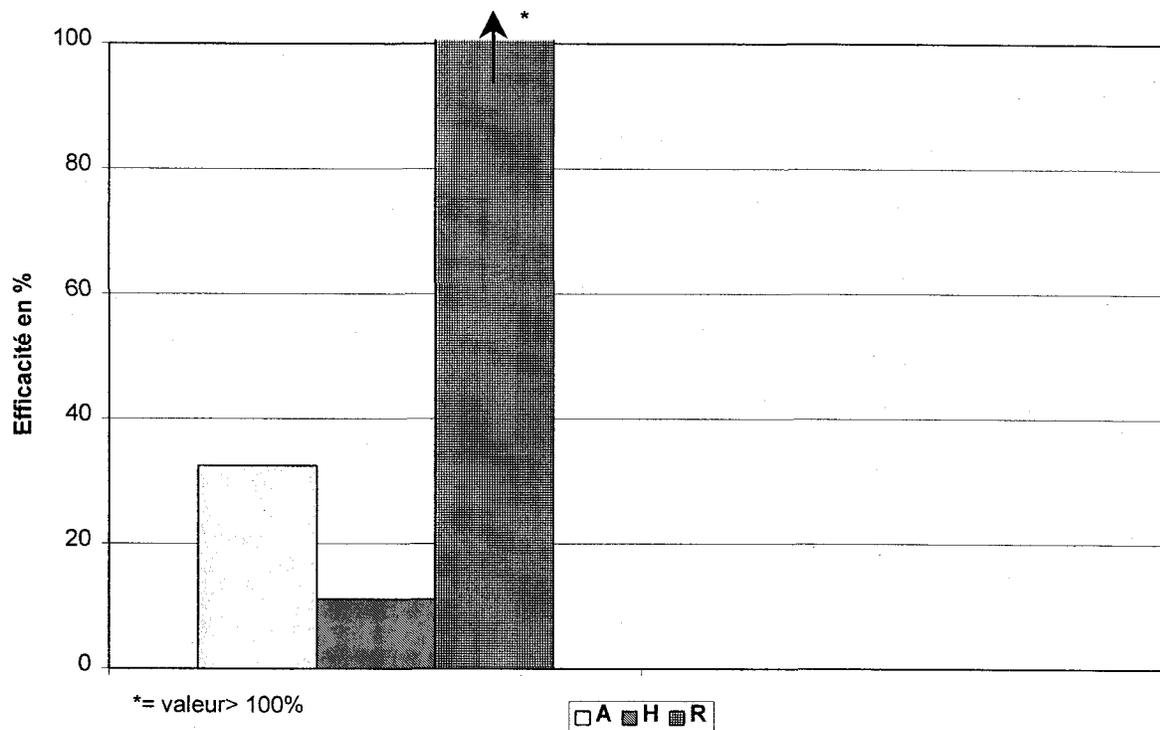


Figure 4.4 : Efficacité moyenne des différents types de bandes riveraines pour les cinq années d'étude.

#### 4.1.4 Statistiques

Une analyse de variance a été effectuée sur les positions des piézomètres pour déterminer les dates où l'efficacité des bandes riveraines était significative. Cette analyse a relevé 22 dates pour lesquelles l'efficacité est significative de façon statistique (Annexe D, Tableau D1).

Les résultats montrent que pour les sites à végétation arbustive (A) et herbacée (H) l'efficacité est positive car il y a une diminution de concentration du champ vers le cours d'eau ; par contre, pour la végétation rase, l'efficacité est négative puisqu'il y a une augmentation de la teneur des nitrates du champ vers le cours d'eau.

D'autre part, d'autres résultats (Annexe D, Tableau D2) confirment ce qui avait été conclu avant l'analyse statistique, c'est-à-dire que l'efficacité dans les bandes riveraines en

végétation herbacée et celles en végétation arbustive sont semblables (peu de différences au niveau statistique). Par contre, il existe une différence significative entre ces derniers et les bandes riveraines à végétation rase.

## **4.2 Les différents paramètres et leur influence sur l'efficacité**

Les principaux processus pouvant être à l'origine de l'efficacité des bandes riveraines sont le prélèvement par les plantes, la dénitrification et l'immobilisation microbienne (Groffman et al., 1992 ; Correll, 1997). Si le processus de prélèvement par les plantes dépend grandement du type de végétation se trouvant sur la bande riveraine, comme expliqué précédemment, les processus microbiens sont eux dépendants d'autres facteurs. La température et le pH peuvent avoir des effets sur la population dénitrifiante. Mais aussi, Groffman et al. (1992) affirment que la plupart des variations dans le sol de la zone riveraine résultent des fluctuations du niveau de la nappe. Celles-ci augmentent et influencent la nature de la production des plantes et de l'activité microbienne. D'autre part, il serait intéressant de vérifier si l'efficacité provient des principaux processus mentionnés ou plutôt d'une simple dilution de l'eau souterraine et ce en calculant le rapport  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ .

### **4.2.1 La température**

La température de l'eau souterraine suit une courbe en cloche avec un maximum à la fin de l'été (août) (Fig.4.5) (Annexe C, Figure C4).

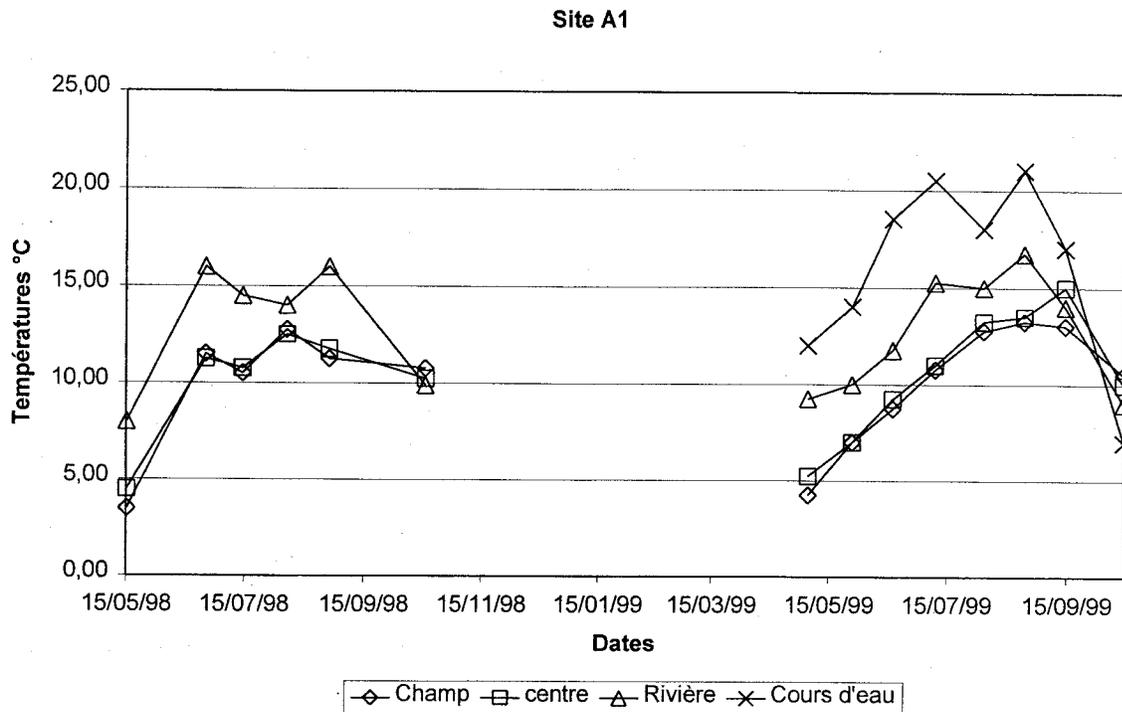


Figure 4.5 : Évolution de la température moyenne aux différentes positions de piézomètres et dans le cours d'eau adjacent au site A1.

Les températures de l'eau souterraine se situent en moyenne entre 5°C et 15 °C et celles des eaux de surface entre 5°C et 20°C parfois 25°C pour les périodes étudiées. De plus, les températures moyennes de l'eau souterraine augmentent du champ vers le cours d'eau. L'eau souterraine atteint donc des températures maximales moins élevées que l'eau des cours d'eau adjacents aux sites expérimentaux (Fig. 4.5). Ceci s'explique par le fait que les cours d'eau adjacents sont plus en contact avec la température ambiante ainsi qu'avec le soleil, ce qui cause un plus grand réchauffement l'été.

En bordure de rivière, les minimums sont moins bas et les maximums plus élevés (Fig. 4.5). Cela s'explique, en partie, par le fait que la nappe y étant moins basse, elle est plus en contact avec l'air libre, ce qui permet un certain réchauffement. D'autre part, la nappe y est plus reliée avec le cours d'eau. Donc, une relation entre la température et la profondeur de la nappe est ici remarquée.

À la lumière de ces résultats, il est à noter que l'effet de la température sur l'efficacité de la bande riveraine se situe à plusieurs niveaux (Figure 4.6). D'une part, lorsque les températures sont élevées en milieu de saison (août) cela aura tendance à augmenter l'évapotranspiration des plantes. Et d'autre part, cela pourrait avoir un effet sur les processus microbiens responsables de l'efficacité des bandes riveraines tel que la dénitrification car, une température élevée peut réduire la solubilité de l'oxygène et favoriser une augmentation du taux de l'activité biologique (Labchir, 1999). Kauark Leite (1990), rapporte que la dénitrification se produit rarement lorsque la température du sol est inférieure à 8°C et que celle-ci double pour une augmentation de 10°C pour des températures entre 15 et 30°C. L'immobilisation quant à elle, n'est pas limitée à l'intérieur des températures observées. Nelson et al.(1995) ont conclu quant à eux que la température n'était pas un facteur majeur dans le contrôle des taux de variation des nitrates. Ils observaient une diminution des nitrates pour le mois de novembre qui était le double de la diminution mesurée pour les mois de mars à juin malgré les températures plus froides de novembre.

Finalement, il est possible de dire qu'avec les températures observées durant les périodes d'étude, la dénitrification et l'immobilisation pouvaient avoir lieu sans toutefois être les phénomènes prédominants dans la variation des taux de nitrates, d'autant plus que les températures et leurs variations étaient semblables pour tous les sites. Aussi, en observant les graphiques (Annexe A, Figures A5,A6 et A7), il en ressort que les variations de teneurs en nitrates ne sont pas toujours corrélées à la température même si cela arrive (site R<sub>3</sub>, 1999).

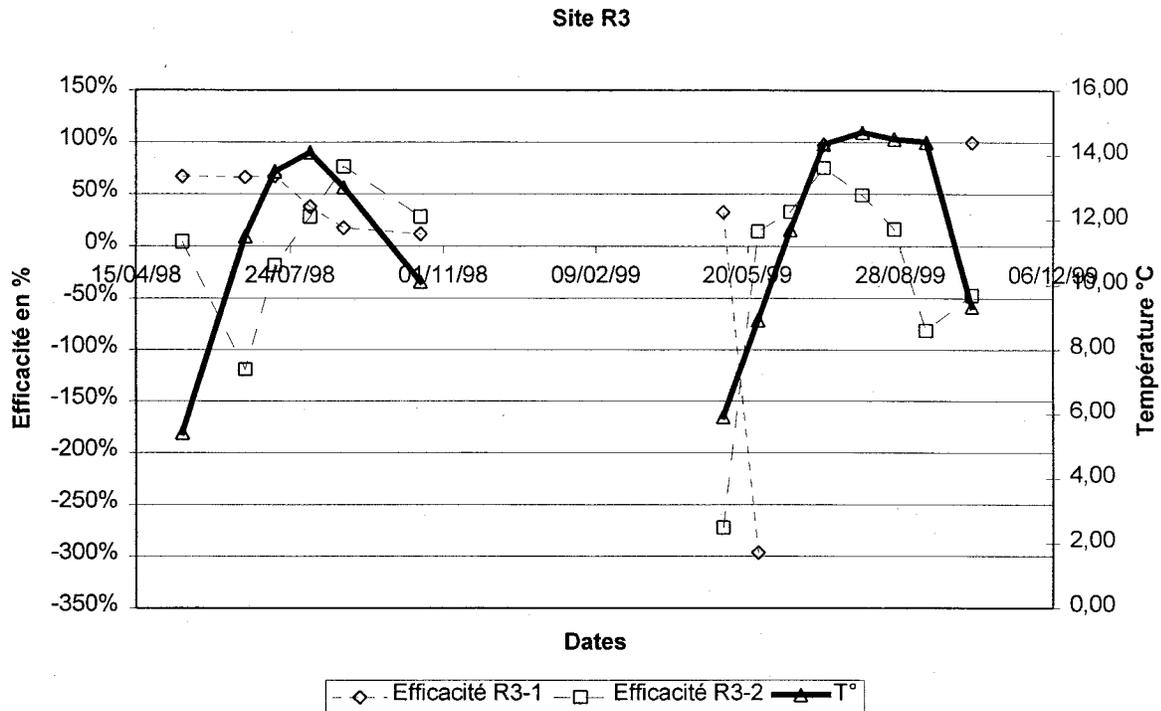


Figure 4.6 : Efficacité en fonction de la température au site R<sub>3</sub> pour les deux séries de piézomètres.

#### 4.2.2 Le pH

Le pH varie de façon irrégulière entre 6 et 8, en général, et plus souvent entre 6,5 et 7,5 tout au long de la saison. Il est généralement à son niveau le plus bas au milieu de l'été (juillet- août) pour l'eau souterraine et les eaux de surface (Figure 4.7 et Annexe C, Figure C2). Il est possible d'expliquer les variations observées au milieu de l'été, par le fait qu'à ce moment là, la nappe est plus profonde et donc qu'il y a moins d'eau. Ce qui conduit à une concentration des ions H<sup>+</sup> et donc à un pH plus acide.

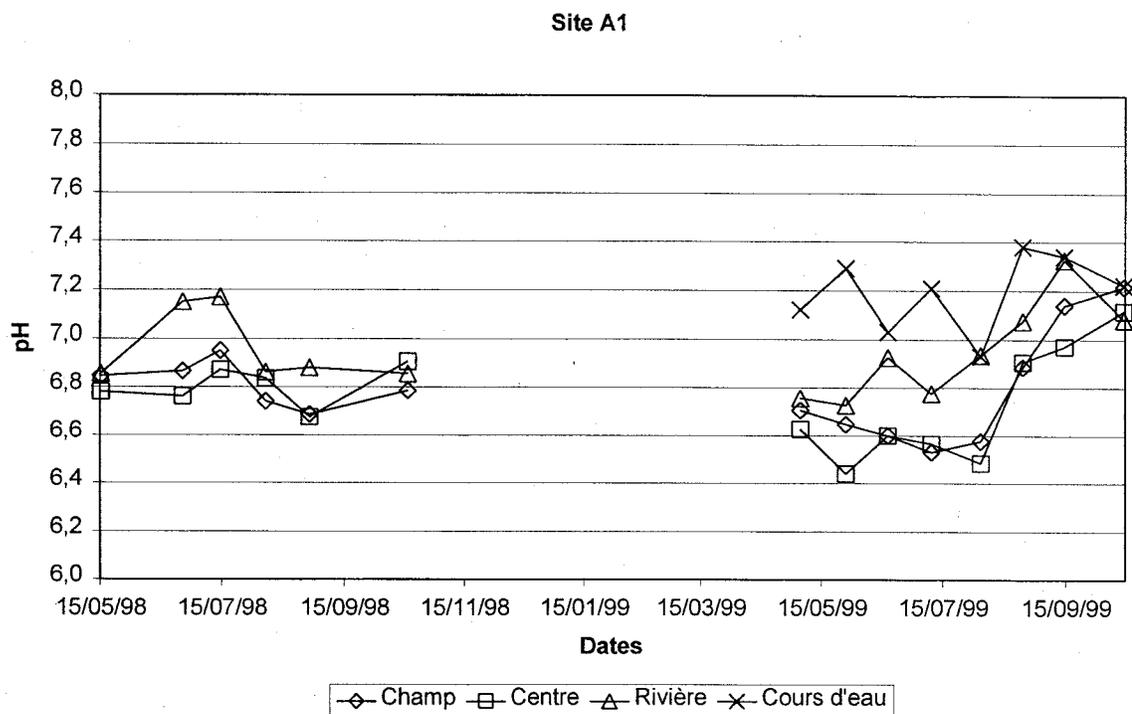


Figure 4.7 : Évolution du pH moyen aux différentes positions de piézomètres et dans le cours d'eau adjacent au site A<sub>1</sub>.

Toutefois, les variations étant peu élevées et se situant dans la zone autour de la neutralité dans l'échelle de pH, cela ne devrait pas inhiber la dénitrification qui a lieu à des pH proches de la neutralité ou légèrement alcalins. De plus, elle peut avoir lieu entre des pH de cinq à neuf (Kauark Leite, 1990).

Cependant, les mesures de pH étaient effectuées une fois les échantillons ramenés au laboratoire ce qui a pu faire varier les résultats. Les échantillons avaient eu le temps d'être en contact avec l'air libre après le prélèvement et avaient pu établir un nouvel équilibre. Pour une expérience future, il serait bon de mesurer le pH sur le terrain et au laboratoire afin de vérifier l'ampleur de cette variabilité.

### 4.2.3 La profondeur de la nappe

La profondeur de la nappe varie généralement de 0,2 à 0,6 m au cours de la saison. Cette variation peut augmenter et atteindre 0,8 à 1,2 m à l'automne. Ainsi, la nappe est généralement plus haute en automne. D'autre part, la nappe est plus proche de la surface du sol au piézomètre qui se trouve à la limite du cours d'eau et plus profonde à la limite du champ (Figure 4.8 et Annexe C, Figure C3).

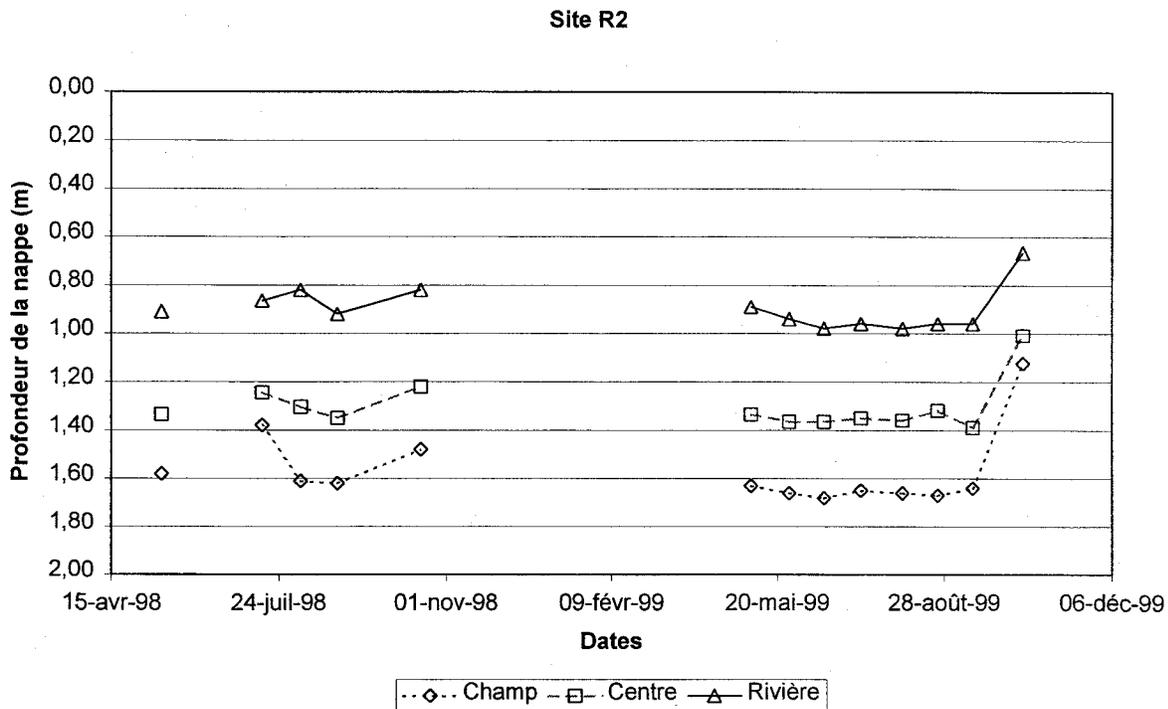


Figure 4.8 : Évolution spatio-temporelle de la profondeur de la nappe au site R<sub>2</sub>.

Lorsque la nappe est haute au printemps ou à l'automne, cela peut augmenter la dénitrification ou l'immobilisation. Puisque d'une part, les racines sont plus en contact avec la nappe dans les zones couvertes de végétation, ce qui amène un prélèvement direct des nitrates et donc une diminution des teneurs en nitrates. Mais d'autre part, lorsque le niveau de la nappe approche de la surface, le sol devient plus anaérobie ce qui aura pour effet d'augmenter la population dénitrifiante. Lowrance (1992) affirme que le potentiel de dénitrification dans la zone saturée est très faible sauf si la zone saturée se trouve à 60 cm ou moins de la surface du sol. D'autre part, Nelson et al. (1995) affirment qu'une nappe

plus haute augmente le taux d'efficacité de la bande riveraine. De façon générale, les différentes études effectuées sur le sujet concluent que les sols mal drainés ont une meilleure capacité à diminuer les teneurs en nitrates grâce aux conditions anaérobies favorables à la dénitrification.

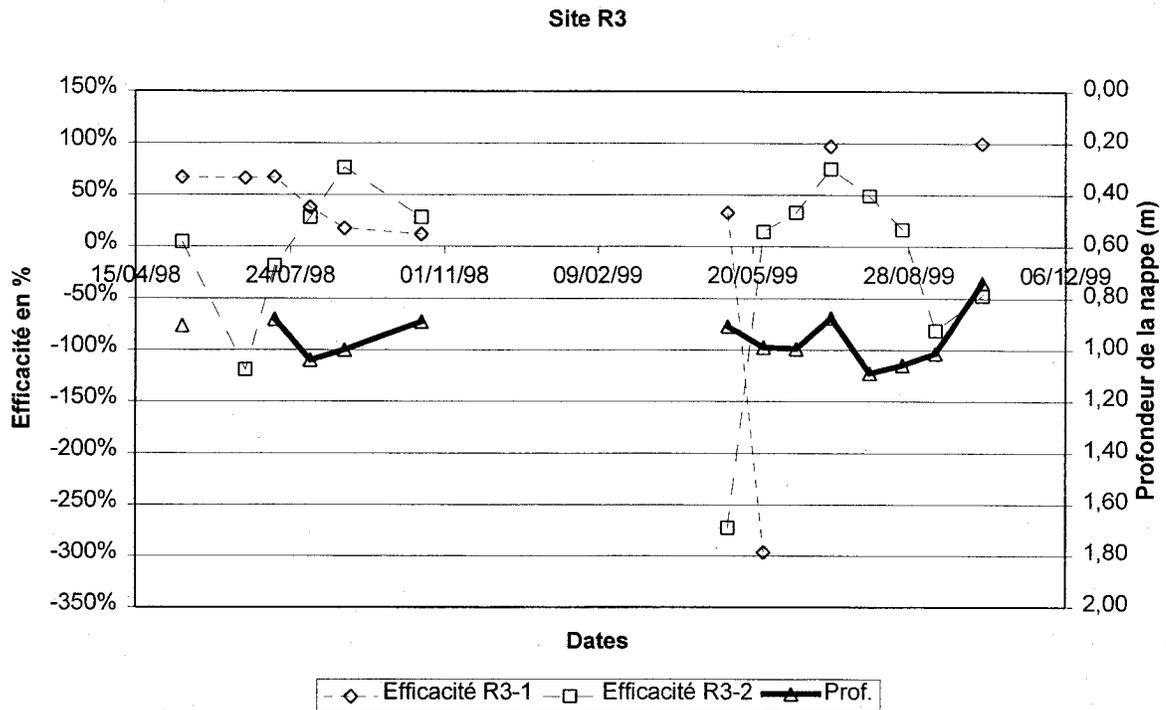


Figure 4.9 : Efficacité de la bande riveraine en fonction de la profondeur de la nappe au site R<sub>3</sub>.

Lorsque l'efficacité de la bande riveraine est comparée à la profondeur de la nappe (Figure 4.9 et Annexe A, Figures A2, A3 et A4), l'efficacité est généralement meilleure lorsque la nappe est plus haute en automne ou au printemps mais cela ne se vérifie pas toujours lorsque la nappe monte durant l'été. De ce fait, il semble qu'un autre facteur relié à la remontée de la nappe tel que le cycle assèchement-réhumectation, pourrait être à la source de cette efficacité de la bande riveraine.

#### 4.2.4 Cours d'eau

Dans la dernière année d'étude, la température et le pH ont été mesurés dans le cours d'eau adjacent, Labchir (1999) avait conseillé de mesurer la température, le pH et la teneurs en nitrates du cours d'eau adjacent à chaque site afin de déterminer s'il y avait un lien entre les teneurs dans la bande riveraine et le cours d'eau.

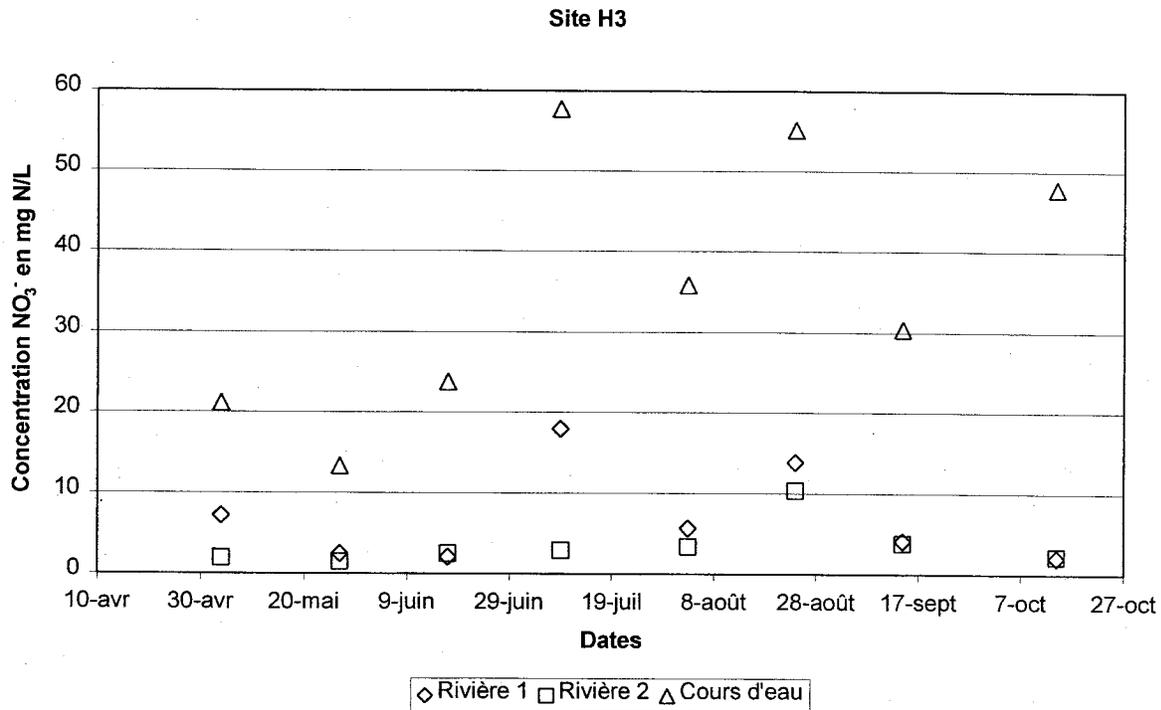


Figure 4.10 : Évolution de la concentration en nitrates dans les eaux souterraines des piézomètres à la limite du cours d'eau (piézo Rivière) et des teneurs en nitrates dans le cours d'eau adjacent au site H<sub>3</sub>.

Pour ce qui est de la teneur en nitrates, elle est généralement plus élevée dans le cours d'eau comparé aux teneurs retrouvées dans le piézomètre à la limite de la bande riveraine et du cours d'eau (Figure 4.10 et Tableaux en Annexe C). D'autre part, il y a une augmentation des teneurs en nitrates au cours de la saison avec régulièrement des pics vers août ou septembre. Les teneurs en nitrates plus élevées dans le cours d'eau s'expliquent par le fait que le cours d'eau traverse plusieurs champs pour lesquels il n'est pas dit s'il existe une bande riveraine et, si elle existe, de quel type elle est. La mesure

effectuée dans le cours d'eau reflète toutes les pratiques culturales effectuées en amont des champs dans lesquels se trouvent les bandes riveraines à l'étude. Aussi, les nitrates augmentent en cours de saison pour atteindre des concentrations plus élevées en fin de saison. Les pics de nitrates observés dans la rivière pourraient aussi être causés par les épandages de lisiers suivi de précipitation avant incorporation, ou encore à la fertilisation suivie des pluies de l'automne qui entraînent un ruissellement et une infiltration.

La température du cours d'eau (Figure 4.5 et Annexe C, Figure C4) suit les mêmes fluctuations que le piézomètre rivière, tout en étant supérieure à celle du dernier piézomètre. Cependant, les températures du cours d'eau sont plus basses en automne lorsque la température se rafraîchit ce qui s'explique par l'exposition directe du cours d'eau à la température ambiante.

Le pH (Fig. 4.7) quant à lui, est généralement moins acide dans le cours d'eau que dans l'eau souterraine des différents piézomètres. Cela s'explique sûrement par les teneurs en nitrates qui y sont plus élevées. La relation entre les nitrates et le pH sera développée plus loin.

Finalement, comme l'avait suggéré Labchir (1999), la comparaison entre les teneurs en nitrates pour le piézomètre en bordure de rivière a été faite ; néanmoins, il demeure ardu de tirer des conclusions à cause de l'effet des pratiques culturales en aval. Aussi, en tenant compte du fait qu'il peut y avoir deux types de cultures et de bandes riveraines de part et d'autre d'un même cours d'eau, les relations deviennent encore plus compliquées à démontrer.

#### **4.2.5 Les chlorures**

L'étude des chlorures a été effectuée afin de vérifier si l'efficacité de la bande riveraine était due à un processus microbien, au prélèvement par les plantes ou à une dilution.

Les analyses ont été effectuées sur quatre campagnes d'échantillonnages de l'année 1999. Cependant, seulement deux des quatre campagnes ont donné des résultats puisque les échantillons des deux autres campagnes contenaient du ISA (ajusteur d'ion) induisant un bruit de fond avec lequel il a été impossible d'avoir des résultats avec le Technicon.

L'analyse des résultats obtenus révèle que malgré le fait que les teneurs en  $\text{Cl}^-$  se trouvent en majorité entre 0 et 30 mg/L, les concentrations vont jusqu'à 80 mg/L. Il est alors impossible d'avoir une relation significative entre  $\text{Cl}^-$  et  $\text{NO}_3^-$ . Lorsque les graphiques effectués pour chaque site sont observés, les valeurs situées au delà de 30 mg/L se retrouvent réparties sur plusieurs sites et non sur un seul. D'autre part, lorsque la relation  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$  est comparée pour chaque position de piézomètre et le cours d'eau, aucune conclusion n'en ressort.

De ce fait, il est à constater que le rapport de  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$  ne peut, à lui seul, permettre de tirer des conclusions quant à l'origine de l'efficacité. Il serait donc nécessaire en même temps d'avoir recours à la méthode des isotopes naturels de N et O dans le  $\text{NO}_3^-$  afin de déterminer le processus exacte responsable de l'efficacité de la bande riveraine.

### 4.3 Largeur de la bande riveraine

Dans la littérature, la largeur des bandes riveraines étudiées varie de deux mètres à 30 mètres. Dans la conclusion du rapport d'un colloque sur les bandes riveraines (*Buffer zones : Their processes and potential in water protection*), les auteurs ne pas de largeur de bande optimale car celle-ci dépend de la situation, la diversité entre les bassin hydrographiques étant énorme. Toutefois, des bandes riveraines de cinq mètres sont retrouvés dans l'article de Addiscott (1997) qui observe que Haycock et Pinay (1993) ont relevé une disparition complète des nitrates dans une bande riveraine arbustive (peuplier) et une diminution des nitrates de 84% dans une bande riveraine herbacée et ce dans les cinq premiers mètres de la bande riveraine. Cey et al. (1999) ont utilisé dans leur étude des bandes riveraines allant de cinq mètres à plus de 30 m. Gilliam et al. (1997) suggèrent

une largeur de bande riveraine idéale de 29 m, toutefois, ils admettent qu'une bande riveraine de 10 m de large serait suffisante pour atténuer les teneurs en NPK atteignant les eaux de surface ainsi que les teneurs en nitrates de l'eau souterraine. D'autre part, Lowrance (1992) a observé une grande atténuation des nitrates dans les 10 à 20 premiers mètres de la bande riveraine même pour des bandes riveraines, qu'il appelle forêts riveraines (riparian forest), ayant des largeurs de 50 à 60 m. Finalement, Lowrance (1997) rapporte différents auteurs qui ont conclu à l'efficacité d'une bande riveraine ayant une largeur de 30 m. Outre les bandes riveraines, certains chercheurs comme Cook (1997) proposent des bandes non cultivées de 20 m de large. À la lumière de ce tour d'horizon, il est clair que la largeur idéale de la bande riveraine dépend de bien des facteurs.

Dans sa thèse de doctorat, Labchir (1999) faisait un tableau de synthèse pour répertorier les largeurs de bandes riveraines utilisées dans différents pays. Les largeurs de bandes variaient de trois mètres à 10 mètres au Canada (bien qu'il soit rare de retrouver des bandes d'une telle largeur au Canada), elles étaient de quatre mètres en France et variaient aux Etats-Unis de trois à cinq mètres en Ohio à 2,5 à 122m pour le guide des bonnes pratiques culturales. D'autre part, des bandes riveraines végétales de 10 à 50 m ont été utilisées pour différentes études sur l'efficacité des bandes riveraines.

Labchir, quant à lui, a utilisé la largeur totale de la bande riveraine pour expliquer les différences d'efficacité des bandes riveraines de même type. Il arrivait à la conclusion que la longueur de la bande riveraine était déterminante. Par exemple, pour les sites à végétation rase, le site  $R_1$  qui a une largeur de six mètres montrait une efficacité plus grande que les sites  $R_2$  et  $R_3$  qui tous deux ont une largeur de quatre mètres (Tableau 4.1). Toutefois, pour ce qui est de l'efficacité des bandes riveraines dans la variation des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines, le phénomène est différent. Alors, une autre méthode a été utilisée et ce, pour les cinq années d'étude.

Tableau 4.1 : Largeur des bandes riveraines pour les neuf sites d'études (Tiré de Labchir, 1999).

Site	A1	A2	A3	H1	H2	H3	R1	R2	R3
Largeur en m	6	4	3	5	4	4	6	4	4

Pour cela, l'efficacité relative entre les deux premiers piézomètres et les deux derniers piézomètres a été comparée afin de déterminer si l'efficacité était plus grande dans les premiers mètres de la bande ou dans les derniers mètres. Cette méthode avait l'avantage d'éliminer la variabilité des paramètres pouvant avoir un effet sur l'efficacité puisque le calcul est effectué pour chaque bande riveraine.

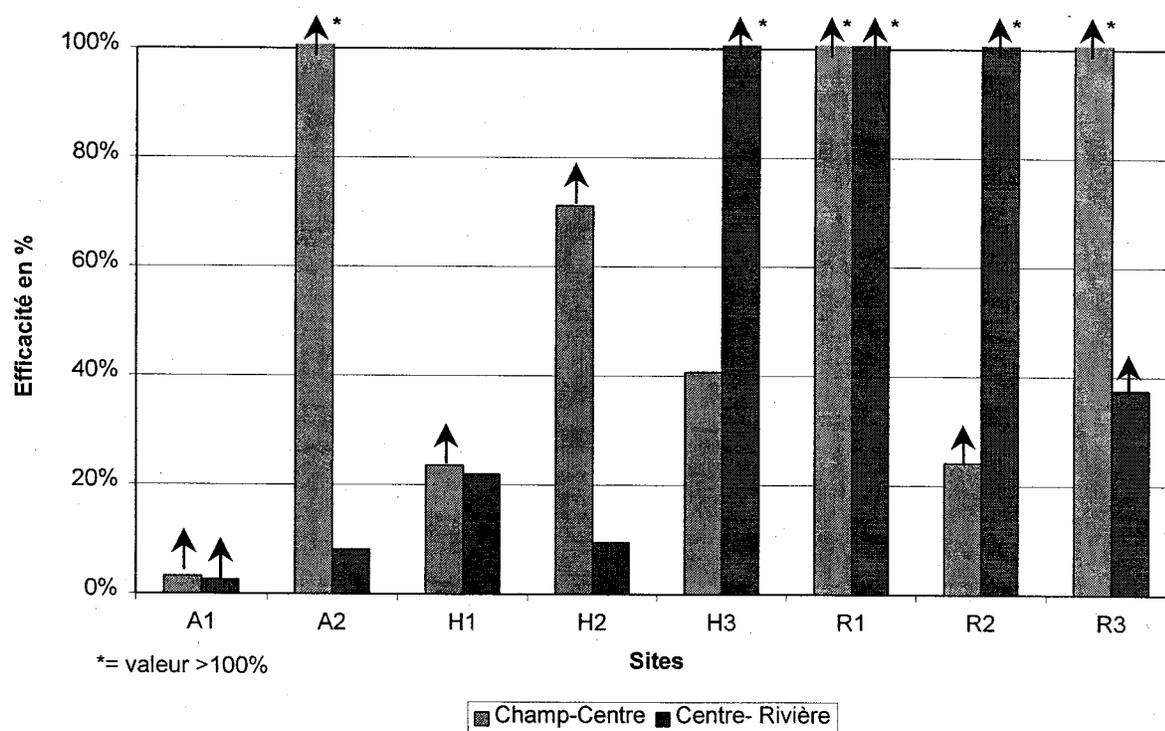


Figure 4.11 : Comparaison de l'efficacité relative entre les piézomètre champ et centre et les piézomètres centre et rivière pour les différents sites à l'étude.

Il faut noter, qu'ici les efficacités sont relatives contrairement aux graphiques 4,1 ; 4,2 et 4,3 qui utilisaient l'efficacité globale de la bande riveraine. La répartition de l'efficacité

entre les deux parties de la bande riveraine est assez égale, puisque pour la moitié des sites elle est plus grande entre le champ et le centre et pour l'autre moitié entre le centre et la rivière. D'une part, les sites  $H_1$ ,  $H_3$ ,  $R_1$  et  $R_3$  ont une meilleure efficacité entre les piézomètres champ et centre ; et d'autre part, les sites  $A_2$ ,  $H_2$  et  $R_3$  ont une efficacité plus grande, ou moins négative, dans la deuxième partie de la bande riveraine. Quant au site  $A_1$ , la répartition est uniforme et pour le site  $A_3$  la largeur de la bande ne permettait pas la mise en place de trois piézomètres par série ; le calcul n'a donc pu être effectué.

À l'étude de ces résultats, la seule conclusion est que les trois sites pour lesquels l'efficacité est plus grande entre le centre de la bande riveraine et le cours d'eau sont des bandes riveraines ayant une largeur de quatre mètres. Cela pourrait être un indice que lorsque la bande riveraine est moins large, l'efficacité est plus grande dans la dernière partie de la bande riveraine, puisque la distance entre les deux premiers piézomètres est trop petite.

Toutefois,  $H_3$  et  $R_2$  ne confirment pas cette conclusion puisque la largeur de ces deux bandes riveraines est de quatre mètres (Tableau 4.1). Ces résultats partagés ne permettant pas de tirer une conclusion satisfaisante, une seconde analyse a été effectuée en utilisant seulement les teneurs en nitrates des dates pour lesquelles SAS a déterminé qu'il y avait une efficacité significative, qu'elle soit positive ou négative.

Lorsque cette méthode est utilisée, il apparaît que pour les dates où l'efficacité est significative, elle se fait principalement dans la première partie de la bande riveraine (Figure 4.12). De même, l'efficacité est négative dans la deuxième partie de la bande riveraine ce qui est le résultat d'une augmentation des concentrations en nitrates. Cela peut s'expliquer par une minéralisation plus grande en bordure du cours d'eau à cause de l'accumulation de matière organique fraîche puisque ces piézomètres sont situés en bas de pente. Une autre explication serait une plus grande efficacité de la bande riveraine lorsque les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  sont plus élevés.

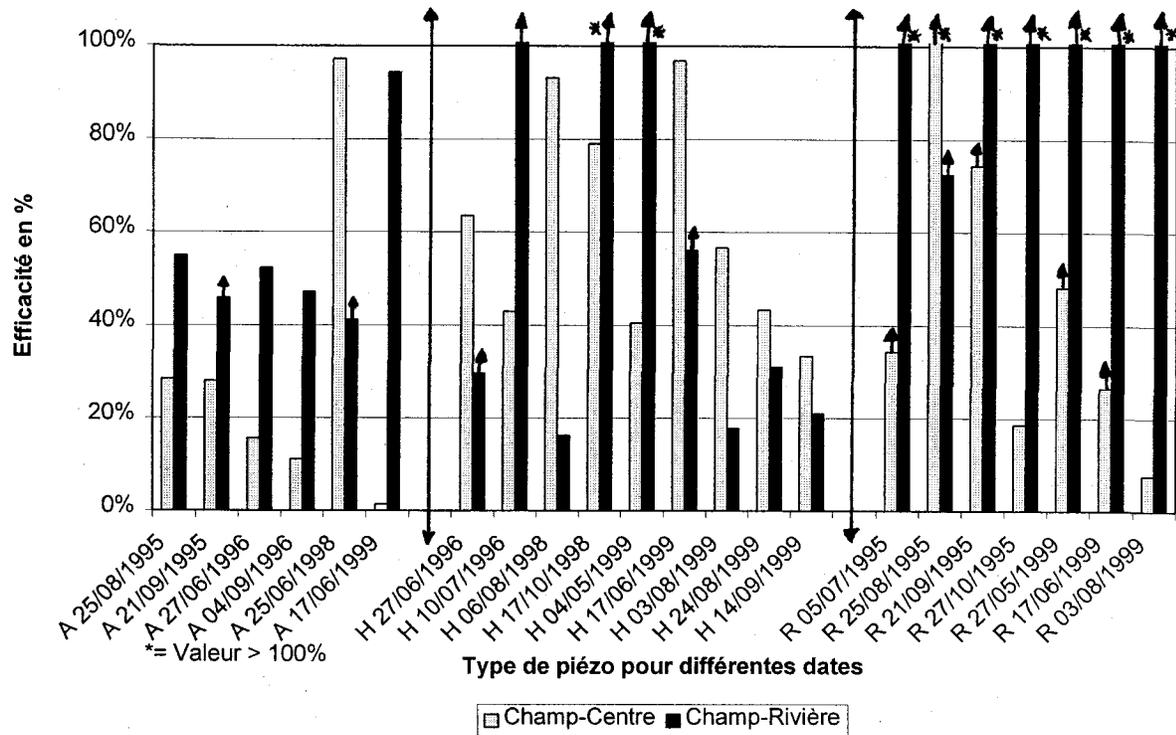


Figure 4.12 : Comparaison de l'efficacité relative entre les piézomètres champ-centre et les piézomètres centre-rivière pour les 22 dates pour lesquels SAS a calculé une efficacité significative et ce pour différents types de sites (A, H, et R).

Finalement, il est difficile de conclure de l'importance de la largeur de la bande riveraine avec les résultats obtenus. Il faudrait pour cela mettre en place un dispositif de parcelles avec des bandes riveraines de différentes largeurs pour pouvoir mesurer exactement l'effet de la largeur sur l'efficacité. Par contre, les résultats obtenus ici ont été analysés statistiquement en utilisant les résultats individuels et non les moyennes.

### 4.3.1 Statistiques

L'analyse de variance effectuée sur l'efficacité a pour but de confirmer statistiquement le degré de signification des résultats obtenus. Au lieu d'utiliser les moyennes d'efficacité, ce sont les efficacités calculées en pourcentage pour chaque série de piézomètre qui ont été utilisés et ce, pour chaque site et chaque date. D'autre part, il a été vérifié si l'efficacité relative était plus grande entre les piézomètres un et deux, c'est-à-dire le

piézomètre à la limite du champ et le piézomètre au centre de la bande riveraine (champ), ou entre les piézomètres deux et trois (efficacité relative) ; ou encore entre les piézomètres un et trois, c'est-à-dire le piézomètre à limite du champ et celui en bordure de rivière (bande).

Les résultats obtenus montrent que l'efficacité de la bande riveraine est plus grande dans la deuxième partie de la bande riveraine, soit entre les piézomètres deux et trois, ce qui n'avait pas été conclu de façon graphique. Donc, la première partie de la bande riveraine (entre le champ et le centre de la bande) serait une zone tampon nécessaire avant la seconde partie de la bande riveraine n'agisse efficacement pour diminuer la teneur en nitrates des eaux souterraines. En extrapolant, et en se basant sur la largeur des bandes riveraines utilisées qui varient entre quatre mètres et six mètres, il est possible de dire qu'une bande riveraine devrait être d'au moins quatre mètres de large puisque les deux premiers mètres seront la zone tampon et les deux mètres suivants la zone d'efficacité.

## **4.4 Relation entre les différents paramètres**

L'analyse des différents paramètres a permis de constater que l'efficacité n'est pas seulement due à un facteur mais à la combinaison de plusieurs facteurs. Aussi, le fait de vérifier la corrélation entre deux paramètres permettra de mettre en évidence des liens dont il faudra tenir compte pour expliquer certains processus responsables de l'efficacité. Les corrélations ont été quantifiées pour les paires de paramètres ayant montré le plus d'interactions lors de l'observation des graphiques faits précédemment.

### **4.4.1 Nitrates *versus* Température**

Lors de l'analyse des résultats, il a été établi que la température pouvait avoir un lien avec les teneurs en nitrates observées. D'une part, lorsque la température augmente, l'évapotranspiration augmente aussi, ce qui peut influencer les teneurs en nitrates. D'autre

part, l'activité biologique est influencée par la température. Ensuite, l'observation des graphiques permettra de déterminer si cette relation existe vraiment.

En effectuant le graphique des teneurs en nitrates en fonction de la température, il est impossible d'obtenir une tendance exacte en raison du grand nombre de données. Ce qui se confirme par le coefficient de détermination ( $R^2$ ) très faible (0,01). Alors, la méthode utilisée par Soucy (1998), qui consistait à lisser la courbe selon le principe des moyennes mobiles a été employée. Cette méthode consistait à regrouper les données par 25 selon des données en ordonnées croissantes et en faisant leurs moyennes pour les valeurs en ordonnée (température) et en abscisse (nitrates). Le coefficient de détermination obtenu avec ces nouvelles séries de donnée est de 0,03. La méthode a été utilisée pour dix données, mais le nombre de données ne diminuaient pas assez et les résultats changeaient très peu par rapport au graphique effectué avec les données brutes. Le coefficient obtenu avec les données groupées par 25, sans toutefois être significatif pour conclure à une corrélation, laisse présumer qu'il y a une certaine relation entre ces deux paramètres.

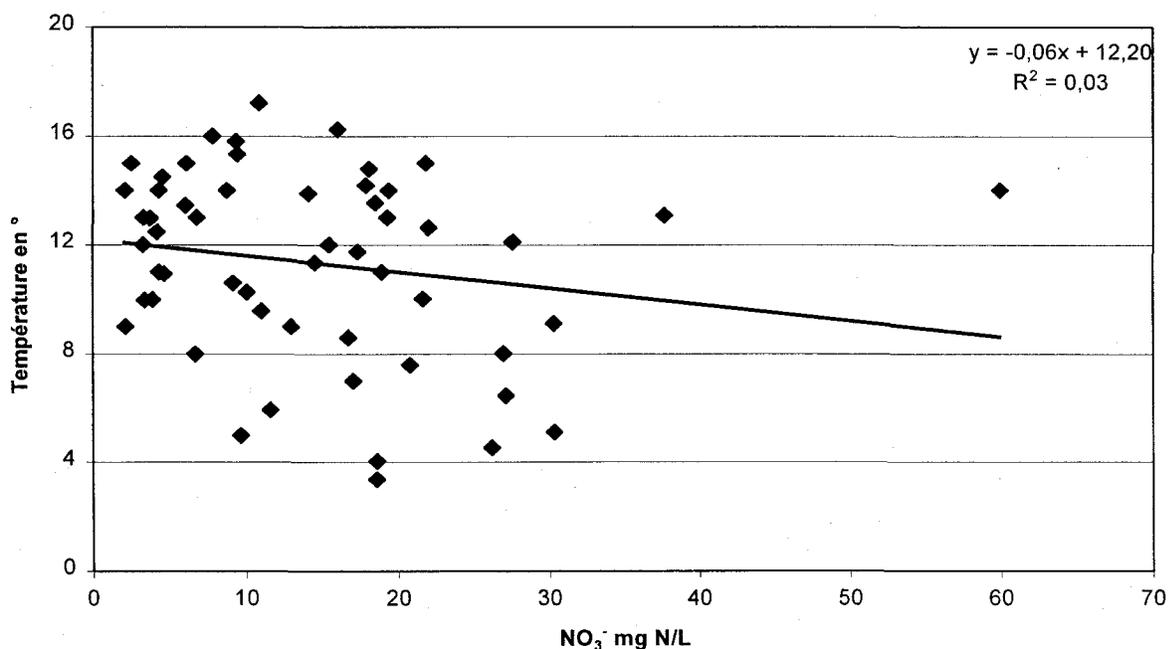


Figure 4.13 : Température en fonction des teneurs en nitrates (données groupées par 25)

Donc, avec les résultats obtenus, il est impossible de dire que la teneur en nitrates dépend directement de la température ou même que celle-ci influence les teneurs en nitrates.

#### 4.4.2 Nitrates *versus* profondeur de la nappe

La hauteur de la nappe jouant un rôle sur les processus de dénitrification ou d'immobilisation, il est pertinent de se demander si ce paramètre est corrélé aux teneurs en nitrates retrouvées dans l'eau souterraine.

Le graphique des teneurs en nitrates en fonction de la profondeur de la nappe a été tracé. Encore une fois, il y a un trop grand nombre de données pour tirer une conclusion avec le graphique et un coefficient de détermination faible (0,02). Donc, la courbe a été lissée en faisant la moyenne des données de nitrates et de profondeur de la nappe par 25, en ayant auparavant classé les données de profondeur de la nappe dans un ordre croissant.

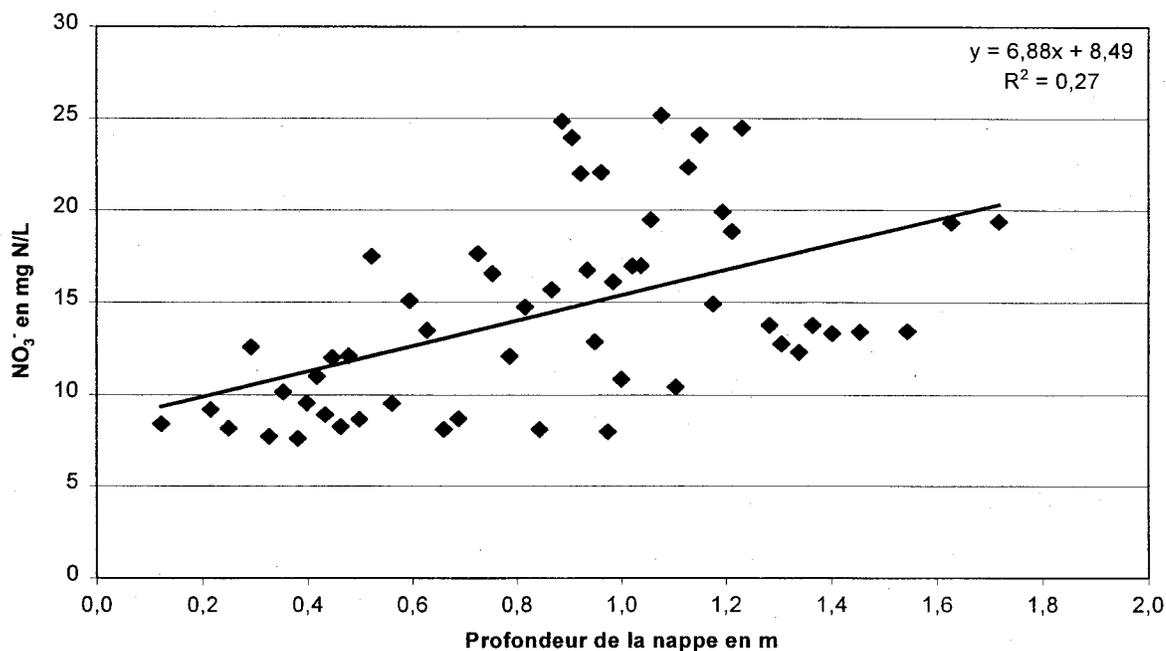


Figure 4.14 : Nitrates en fonction de la profondeur de la nappe (données groupées par 25)

Encore une fois, le coefficient de détermination obtenu avec la courbe lissée (0,27) est meilleur que lorsque la courbe n'est pas lissée mais il n'est toujours pas significatif.

#### 4.4.3 Nitrates *versus* pH

La transformation de l'ammonium en nitrates libère des ions  $H^+$  qui acidifieront l'eau souterraine. Vu qu'une partie de la fertilisation azotée se trouve sous la forme ammonium, il est à supposer qu'une partie des nitrates retrouvés dans l'eau souterraine est le résultat de la transformation de l'ammonium en nitrates, au quel cas, la teneur en nitrates de l'eau souterraine devrait être corrélée au pH.

Pour effectuer le graphique des teneurs en nitrates en fonction du pH, les valeurs du logarithme à base dix des teneurs en nitrates ont été utilisées puisque le pH est le logarithme à base dix de la teneur en ions  $H^+$  de l'eau souterraine.

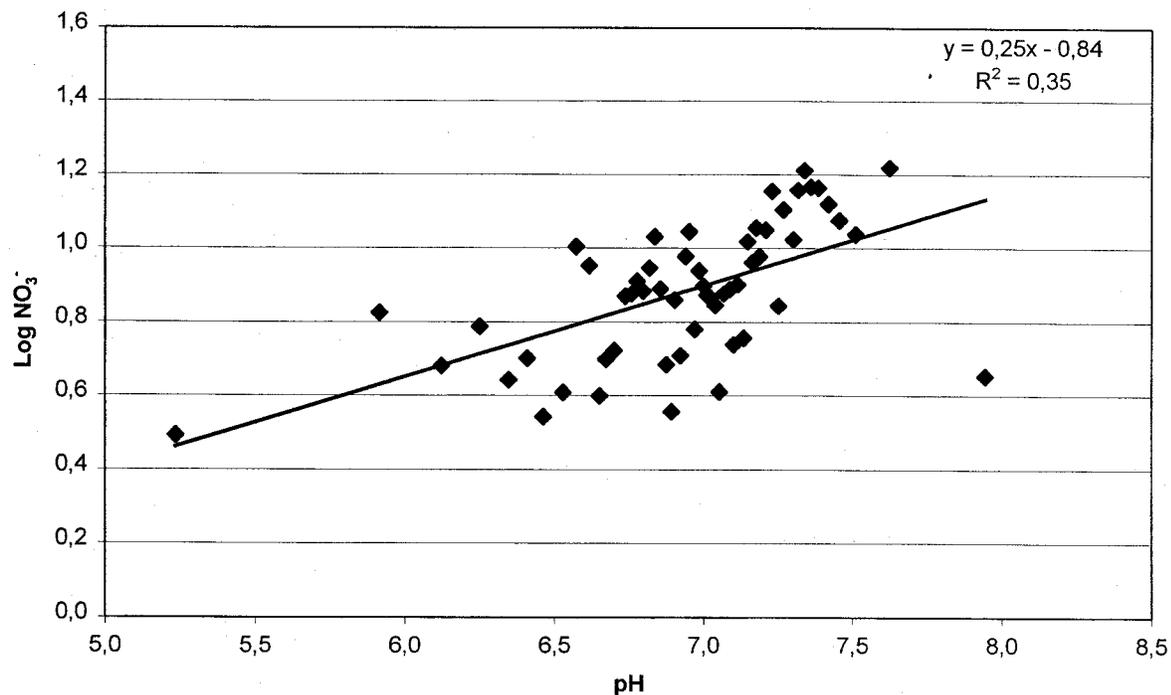


Figure 4.15 : Nitrates en fonction du pH (données groupées par 25)

Comme pour les relations précédentes, le coefficient de détermination pour les données brutes est très faible (0,06), alors la courbe a de nouveau été lissée. La courbe ainsi obtenue (Fig.4.15) ayant un coefficient de détermination de 0,35. Encore une fois, même s'il existe une relation entre les teneurs en nitrates et le pH, il est difficile de conclure à une corrélation claire.

Le même exercice a été effectué afin de déterminer s'il existait une corrélation entre la température et la profondeur de la nappe, la température et le pH, et le pH et la profondeur de la nappe. Cela n'a pas permis de relier de façon claire aucune paire parmi les paramètres étudiés. Par contre, il existe un lien entre la plupart des paramètres. Ce qui semble indiquer que l'efficacité de la bande riveraine soit le résultat de la combinaison de plusieurs facteurs et non le fait d'un seul paramètre en particulier.

#### **4.4.4 Statistiques**

Plusieurs paramètres jouaient un rôle important dans la disponibilité de l'azote dans le sol. Cette analyse statistique (régression) a donc voulu vérifier jusqu'à quel point ces différents paramètres étaient reliés entre eux et ainsi vérifier les résultats qui avaient été obtenus de façon graphique.

L'analyse du tableau D3 en Annexe D montre que la plupart des paramètres semblent inter-reliés. Les valeurs obtenues pour  $R^2$  sont très faibles toutefois, vu le grand nombre de données utilisé, il faut tenir compte de la probabilité de l'ordonnée à l'origine et de la probabilité du paramètre dépendant. Ces deux probabilités étant très faibles, cela confirme la relation qui existe entre les différents paramètres étudiés.

## 4.5 Effet de la culture adjacente

La culture adjacente à la bande riveraine étudiée aura un impact sur les teneurs en nitrates qui seront lessivées. Car d'une part, la culture détermine la fertilisation (charge de nitrates appliquée) ; mais aussi, cela va déterminer la couverture du sol durant la culture. Si c'est une culture en rangée comme le maïs, les rangs seront exposés aux intempéries et donc au ruissellement ; par contre si c'est de la luzerne, la culture va couvrir toute la surface du sol. La culture aura aussi un effet après la récolte puisque les résidus laissés au sol contribueront à l'apport en nitrates.

Afin d'étudier l'effet des cultures adjacentes sur les teneurs en nitrates, les teneurs moyennes en nitrates pour chaque bande riveraine ont été calculées, ainsi que l'écart-type. Ces concentrations obtenues, ont été comparées avec les cultures effectuées sur la parcelle adjacente. D'autre part, pour s'affranchir de l'influence du type de bande riveraine ainsi que de son efficacité, le même exercice a été fait mais cette fois-ci en ne tenant compte que des teneurs en nitrates aux piézomètres situés à la limite champ et bande riveraine (piézomètre champ).

Plusieurs études (Addy et al. 1999) parlent de la nécessité de connaître l'historique de culture de la parcelle adjacente sur 10 ou 20 ans pour pouvoir tirer des conclusions quand au lien qui existe entre la culture adjacente et les teneurs en nitrates de l'eau souterraine. L'eau souterraine voyageant lentement, elle peut prendre beaucoup de temps avant de traverser le champ pour se rendre à la bande riveraine où les nitrates pourront être diminués. Dans cette étude, il a été tenté de voir s'il existait un lien direct ou indirect entre les cultures adjacentes et les teneurs en nitrates retrouvées dans l'eau souterraine avec un historique de culture de huit ans.

Tableau 4.2 : Teneurs moyennes en nitrates (mg N/L) à la limite champ-bande riveraine au site R<sub>1</sub>.

Année	Série1		Série 2		culture
	moy	écart-type	moy	écart-type	
1992					Foin- Fourrage
1993					Maïs
1994					Maïs
1995	5,61	7,75	*	*	Maïs
1996	18,88	9,08	*	*	Foin (trèfle)
1997	9,97	8,00	*	*	Foin (trèfle)
1998	8,40	16,07	*	*	Fourrage (trèfle)
1999	4,03	2,25	*	*	Fourrage (l,t,f)

l= luzerne, t= trèfle, f= fléole

Tableau 4.3 : Teneurs moyennes en nitrates (mg N/L) à la limite champ-bande riveraine au site R<sub>3</sub>.

Année	Série 1		Série 2		culture
	moy	écart-type	moy	écart-type	
1992					Maïs
1993					Maïs
1994					Maïs
1995	40,00	39,29	8,04	4,44	Maïs
1996	17,85	9,96	10,94	4,54	Maïs
1997	23,03	1,90	45,11	18,45	Maïs
1998	17,40	17,02	14,15	26,61	Maïs
1999	230,72	320,23	6,27	6,31	Maïs

L'étude du tableau 4.2, révèle que le site R<sub>1</sub> est cultivé en fourrage cinq années sur les huit années pour lesquelles la culture dans la parcelle adjacente a été relevée. De même, pour le site R<sub>3</sub>, le tableau 4.3 révèle que la parcelle adjacente a été cultivée en maïs pour toutes les années. Lorsque les concentrations en nitrates sont étudiées, il en ressort que celles-ci sont largement plus élevées pour le site R<sub>3</sub> où il y avait une monoculture en maïs depuis huit ans.

Tableau 4.4 : Teneurs moyennes en nitrates (mg N/L) pour la bande riveraine aux sites R<sub>1</sub> et R<sub>3</sub>.

Année	Site R <sub>1</sub>			Site R <sub>3</sub>		
	moy	écart-type	culture	moy	écart-type	culture
1992			Foin- Fourrage			Maïs
1993			Maïs			Maïs
1994			Maïs			Maïs
1995	9,47	8,49	Maïs	13,93	15,84	Maïs
1996	26,24	14,90	Foin (trèfle)	15,70	8,64	Maïs
1997	22,70	12,26	Foin (trèfle)	25,78	15,56	Maïs
1998	30,63	59,71	Fourrage (trèfle)	15,65	19,60	Maïs
1999	9,17	11,47	Fourrage (l,t,f)	29,93	106,56	Maïs

l= luzerne, t= trèfle, f= fléole

Lorsque les teneurs en nitrates sont observées pour les mêmes sites mais cette fois pour la teneur moyenne en nitrates de toute la bande riveraine, toutes les teneurs en nitrates moyennes sont au dessus de 10 mg N/L pour le site R<sub>3</sub> (dont deux au dessus de 20 mg N/L). De même, pour les résultats du site R<sub>1</sub>, il y a des teneurs en nitrates supérieures à 20 mg N/L pour trois années.

En examinant ces résultats de plus près, il est possible de faire un lien entre les concentrations élevées en nitrates et la culture de maïs. De même, l'analyse des teneurs en

nitrate pour les piézomètres à la limite du champ et de la bande riveraine montre que le site  $R_1$  qui a été moins souvent cultivé en maïs présente des teneurs en nitrates moins élevées que le site  $R_3$  qui se trouve sous monoculture de maïs. D'autre part, en considérant les teneurs en nitrates moyennes pour toute la bande, les résultats ne sont pas les mêmes, mais l'effet de la culture en maïs est tout de même visible. Pour le site  $R_1$ , des teneurs élevées sont retrouvées trois années de suite, tout comme la parcelle adjacente est cultivée en maïs trois années de suite. Par contre, il y a un déphasage de trois années entre les concentrations élevées et les années de culture en maïs. Pour le site  $R_3$ , les teneurs en nitrates sont élevées pour toutes les années et la parcelle est cultivée en maïs pour toutes ces années.

Pour ces deux sites, les cultures en présences sont complètement opposées quant à la régie de culture : le foin (fourrage) d'une part et le maïs de l'autre. Avec le champ cultivé en fourrage, le sol est couvert toute l'année. Il y a donc un prélèvement de nitrates durant une plus grande période de même qu'une fertilisation azotée peu élevée. Par contre, il y a une contribution en azote des résidus de culture au sol. Avec le maïs il n'y a pas de contribution par les résidus de culture de l'année précédente. La fertilisation azotée est très élevée et le sol est laissé à nu une bonne partie de l'année (Tableau. 4.5).

Ces deux exemples résument bien ce qui ressort de l'analyse de toutes les données obtenues. En analysant les données de teneurs moyennes de nitrates obtenues pour les piézomètres en bordure de champ pour les autres sites expérimentaux (Annexe B) ; il en ressort des teneurs en nitrates élevées pour les années où la culture adjacente est le maïs ( $A_1, A_2$ ), ou lors du démarrage de la culture en foin ( $R_2$ ). D'autres fois, des teneurs élevées sont observées après deux ou trois années de culture en maïs ( $R_1$ ) ainsi qu'une baisse des teneurs en nitrates après trois années sans culture de maïs ( $H_3$ ).

Tableau 4.5 : Apport en azote pour les différentes cultures retrouvées sur les parcelles adjacentes aux bandes riveraines étudiées (guide du CPVQ)

Cultures	Apport en kg N/ha	
	Résidus de culture <sup>1</sup>	fertilisation
Blé	0	90
Canola	25	80
Foin		Démarrage/ Entretien <sup>2</sup>
40% et + de légumineuses	40-60	20-60/ 0-75
moins de 40% de légumineuses	25-35	20-60 / 75-110
Grains mélangés	0	N/D
Luzerne	40-70	20-60/ faible
Maïs	0	120-170
Orge	0	70

<sup>1</sup> L'apport des résidus de culture doit être pris en compte afin de diminuer l'apport de démarrage pour l'année suivante.

<sup>2</sup> L'apport en azote pour l'entretien (année 2 et suivantes) doit être adapté, la quantité d'azote augmentant à mesure que la quantité de légumineuse diminue.

N/D. Donnée non disponible

D'autre part, lorsque l'analyse est effectuée à partir des teneurs moyennes en nitrates pour l'ensemble de la bande riveraine, il est possible d'effectuer des liens entre la culture de maïs et les teneurs élevées en nitrates car même si la correspondance n'est pas exacte la séquence est la même ; par exemple pour le site R<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>, trois années de teneurs en nitrates élevées suivent trois années de culture en maïs et deux années pour le site H<sub>2</sub>.

À la lumière de ces résultats, il est possible de conclure qu'il existe un lien entre la culture adjacente et les teneurs en nitrates de l'eau souterraine. De plus, le décalage pourrait être expliqué par la vitesse de percolation de l'eau souterraine et/ou des nitrates à travers le profil de sol avant d'atteindre l'eau souterraine. Il faut donc considérer que c'est au niveau de la fertilisation, des résidus de culture et de la couverture du sol que la culture

adjacente peut avoir un effet sur les teneurs en nitrates observées dans l'eau souterraine de la bande riveraine. Pour de meilleurs résultats, il faudrait avoir un suivi exact de toutes les fertilisations effectuées et aussi une bonne approximation de la distribution graminées/légumineuses pour les pâturages, surtout pour une meilleure approximation de l'apport des résidus de culture. Toutefois l'utilisation des valeurs énoncées dans les grilles de référence en fertilisation en sont une bonne approximation.

### 4.5.1 Statistiques

Une analyse de variance (Test LSD : least significant difference) a été effectuée pour chaque site afin de déterminer s'il y avait une différence significative entre l'effet des différentes cultures (limite champ-bande). Des résultats significatifs au seuil  $\leq 0,05$  ont été obtenus pour cinq des neuf sites (Annexe D, Tableau D4). Les résultats montrent que pour les sites A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>3</sub> et R<sub>2</sub>, les différentes cultures ont un effet significatif sur les teneurs en nitrates retrouvées dans les eaux souterraines.

À partir de cela, il est possible de présenter pour chaque site les cultures présentant des différences significatives.

#### Site A<sub>1</sub>

Tableau 4.6: Types de cultures et concentrations moyennes (mg N/L) retrouvées à la limite champ-bande au site A<sub>1</sub>.

Types de culture	Moyenne	Indicateur
Maïs	27,34	A*
Fourrage	10,59	B

\* Des lettres différentes pour l'indicateur montrent qu'il y a une différence significative entre les 2 cultures.

**Site A<sub>2</sub>**

Ce site se trouve sous la même culture de 1995 à 1999 (fourrage) et il n'y a aucune différence significative entre les moyennes de teneur en nitrates pour les différentes années.

**Site A<sub>3</sub>**

Tableau 4.7 : Types de cultures et concentrations moyennes (mg N/L) retrouvées à la limite champ-bande au site A<sub>3</sub>.

Type de culture	Moyenne	Indicateur
Maïs	15,83	B
Fourrage	47,78	A

**Site H<sub>1</sub>**

Il n'y a pas de différence significative entre les cultures retrouvées dans le champ adjacent au site.

**Site H<sub>2</sub>**

Tableau 4.8 : Types de cultures et concentrations moyennes (mg N/L) retrouvées à la limite champ-bande au site H<sub>2</sub>.

Type de culture	Moyenne	Indicateur
Maïs	10,67	A
Orge	26,94	B
Canola	5,77	A

**Site H<sub>3</sub>**

Tableau 4.9 : Types de cultures et concentrations moyennes (mg N/L) retrouvées à la limite champ-bande au site H<sub>3</sub>.

Type de culture	Moyenne	Indicateur
Maïs	16,77	A
Grains mélangés	69,24	B
Soya	42,86	B
Blé	51,20	B

**Site R<sub>1</sub>**

Sur ce site, aucune différence significative n'a été observé entre les moyennes de teneur en nitrates pour les différentes années. Il faut noter que sur les cinq années d'études, la culture diffère pour une seule année.

**Site R<sub>2</sub>**

Tableau 4.10 : Types de cultures et concentrations moyennes (mg N/L) retrouvées à la limite champ-bande au site R<sub>2</sub>.

Type de culture	Moyenne	Indicateur
Fourrage	10,05	A
Orge	2,94	B
Canola	4,42	AB

Outre cette analyse statistique pour vérifier l'effet des différentes cultures sur les concentrations retrouvées à la limite champ-bande, il a été vérifié s'il existait des différences pour le même type de culture selon l'année de culture.

À la lumière des résultats obtenus, même s'il existe des différences significatives, il est difficile de relier les concentrations à la limite du champ à la culture adjacente puisque d'une fois à l'autre l'effet peut être inverse comme c'est le cas par exemple, du fourrage et du maïs pour les sites A<sub>1</sub> et A<sub>3</sub>. Alors qu'au site A<sub>1</sub> le maïs occasionne des teneurs en nitrates plus élevées que le fourrage, c'est le contraire au site A<sub>3</sub>. Il n'est donc pas possible de vérifier statistiquement l'effet de la culture adjacente sur les teneurs en nitrates.

## 4.6 Tendances sur cinq années

Pour certains paramètres traités auparavant, tels que l'efficacité, la relation entre les paramètres et l'effet de la culture adjacente, l'analyse a été effectuée sur les résultats obtenus depuis le début de l'étude. Par contre, pour les différents paramètres mesurés sur le terrain tels que la température, le pH, la profondeur de la nappe et la teneur en nitrates, les résultats ont été jusqu'ici analysés sur les deux dernières années de l'étude. Il reste à voir s'il y a une tendance qui se dégage des résultats obtenus pour chacun de ces paramètres pour les cinq années d'étude.

Pour la température, la tendance pour les cinq années est la même que lorsque les données sont analysées sur deux ans. Le graphique est une courbe de température en cloche avec un maximum au milieu de l'été (juillet-août) et des minimums au début du printemps et à l'automne. Par contre, les températures de l'eau souterraines sont légèrement plus élevées pour 1995 et 1999 (voir Figures en Annexe C).

Pour le pH, aucune tendance spéciale n'est observée. Il varie de façon irrégulière entre six et huit pour les cinq années d'étude. La profondeur de la nappe ne dégage, elle non plus, aucune tendance ; les conclusions pour les deux dernières années étant les mêmes que celles que Labchir (1999) avait tiré, à savoir que pour les neuf sites la profondeur de la nappe d'eau souterraine diminue depuis le champ jusqu'à la rivière.

Par contre, l'analyse des teneurs en nitrates permet d'arriver à des conclusions intéressantes. Pour la série deux de piézomètres au site A<sub>1</sub>, il y a une augmentation graduelle des teneurs en nitrates de 1995 à 1999 (Fig. 4.16).

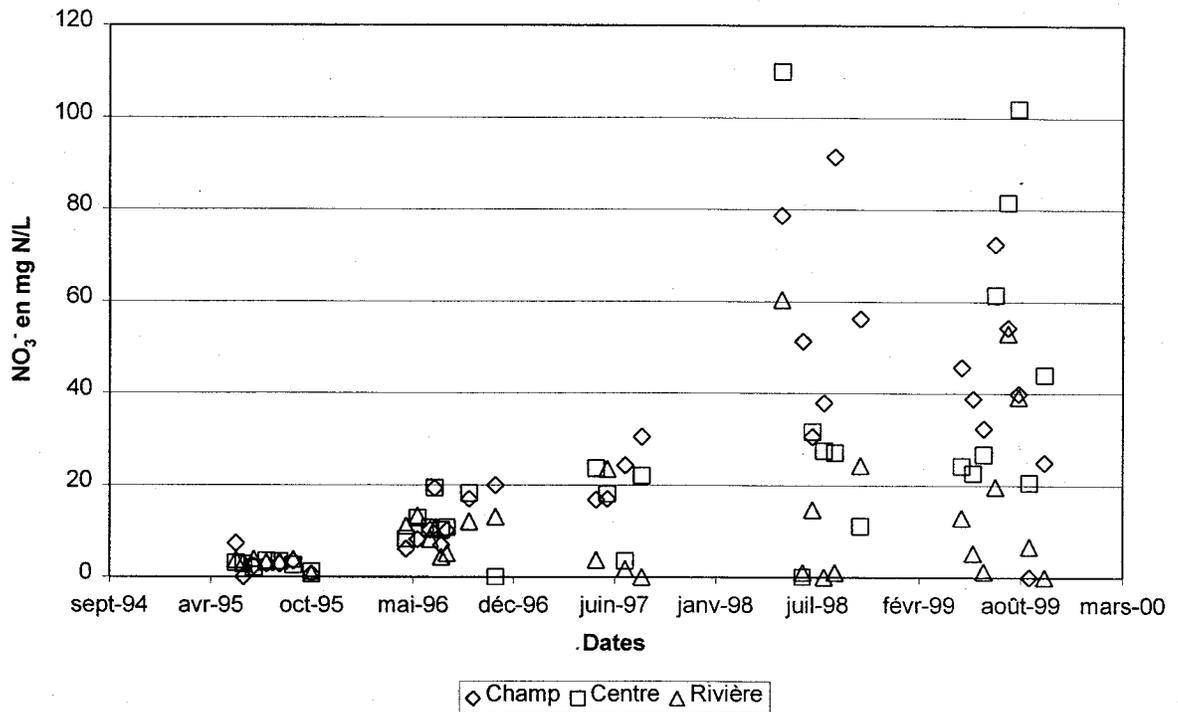


Figure 4.16 : Évolution des concentrations en nitrates de l'eau souterraine sur les cinq années d'étude au site A<sub>1</sub> série 2 de piézomètres.

Cette augmentation de concentrations peut s'expliquer par une accumulation des nitrates dans la bande riveraine, d'autant plus que la parcelle adjacente est cultivée en maïs de 1997 à 1999 à la suite d'une prairie. Ceci appuierait l'hypothèse selon laquelle la culture adjacente aurait un impact sur les concentrations de nitrates. D'autre part, cela pourrait être dû à une saturation de la bande riveraine qui est de moins en moins efficace. Toutefois, pour vérifier cette théorie, il faudrait avoir les teneurs en nitrates pour encore quelques années après le retour de la parcelle adjacente en prairie. Par contre, le fait de ne pas constater la même évolution de concentrations sur la série un de piézomètres située à

seulement quelques mètres, met en lumière une autre problématique de cette expérimentation, celle de la variabilité spatiale.

Pour les sites A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, H<sub>1</sub> et H<sub>2</sub>, le lien entre la tendance observée pour les teneurs en nitrates et la culture adjacente est aussi visible. Des teneurs en nitrates qui augmentent graduellement lorsque la parcelle est cultivée en maïs sont observées, ensuite, lorsqu'il y a un retour en prairie ou bien un changement de culture, il y a une baisse des teneurs en nitrates pour ces années là (voir Annexe B). Par contre, cette hypothèse ne se confirme pas avec le site R<sub>3</sub> qui se trouve en monoculture de maïs pour toutes les années d'études. Pour les autres sites aucune tendance ne se dégage.

En conclusion, une augmentation des teneurs en nitrates en corrélation avec les cultures adjacentes est observée pour les bandes riveraines en végétation. Il est probable que cette augmentation des teneurs en nitrates soit reliée à la présence de végétation. Cela pourrait être le résultat d'une saturation des bandes riveraines résultant de l'atteinte d'un optimum par la végétation. Pour augmenter la durée de vie de la bande riveraine et empêcher celle-ci d'atteindre la saturation, il faut l'entretenir et récolter la biomasse (Groffman et al. 1992). Ceci s'applique à tous les types de bande riveraine.

## 5. CONCLUSION

---

Cette étude a permis d'étudier l'efficacité de trois types de bandes riveraines (végétation herbacée, végétation arbustive et végétation rase) quant à leur capacité à diminuer les teneurs en nitrates des eaux souterraines.

Les résultats obtenus ont montré que les bandes riveraines à végétation herbacée et arbustive sont efficaces pour diminuer les teneurs en nitrates de l'eau souterraine des bandes riveraines. Les résultats montrent aussi qu'une bande riveraine avec végétation rase (contrôlée par la coupe) entraîne une augmentation des teneurs en nitrates dans l'eau souterraine. Cette augmentation est probablement le résultat de la minéralisation ou encore de l'infiltration des eaux de ruissellement. Par contre, les résultats sur l'efficacité montrent une diminution de l'efficacité sur les dernières années d'étude ce qui laisse supposer que si une bande riveraine n'est pas entretenue son effet peut être inversé, elle peut contribuer à accroître les concentrations en nitrates.

L'analyse statistique effectuée sur les résultats des cinq années d'étude mène à la même conclusion que Addy et al. (1992) et Osborne et Kovacic (1993), c'est-à-dire qu'il n'y a pas de différence significative entre l'efficacité des bandes riveraines arbustives et herbacées. Mais comme d'autres études sont arrivées à la conclusion inverse (Haycock et Pinay 1993), une combinaison des deux types de bandes pourrait être efficace.

Aussi, dans la littérature, il est entendu que les principaux processus responsables de l'élimination des nitrates dans l'eau souterraine sont la dénitrification, le prélèvement par les plantes et l'immobilisation bactérienne. Dans cette étude, il semble que l'atténuation soit principalement dû au prélèvement par les plantes car l'étude a été effectuée durant la saison de culture (Groffman et al. 1992). Toutefois, une grande variabilité spatiale de l'efficacité a été observée. Ceci peut être dû à une couverture non uniforme du sol par les plantes puisque ce sont elles qui sont responsable du prélèvement de nitrates.

Par ailleurs, une seconde analyse a permis de déterminer que l'atténuation des teneurs en nitrates a principalement lieu dans la seconde partie d'une bande riveraine de quatre à six mètres. Ce résultat est cohérent puisque dans cette partie de la bande riveraine les racines sont plus en contact avec la nappe qui est moins profonde.

De plus, l'analyse des paramètres ayant une influence sur l'efficacité permet d'entrevoir un faible lien entre la plupart de ces paramètres. Ceci paraît indiquer que c'est la combinaison des différents paramètres qui est responsable de l'efficacité et non chaque paramètre pris individuellement. Par contre, il faudrait utiliser une technique efficace permettant de déterminer jusqu'à quel point les paramètres sont reliés et interagissent dans le même sens. Par exemple, en installant plusieurs sites sur différentes bandes riveraines ayant été choisies au préalable pour leurs caractéristiques semblables en tous points, et ensuite faire varier un paramètre à la fois. La méthode utilisée dans cette étude s'est avérée peu concluante puisqu'il existe déjà une variabilité entre les sites au niveau du type de sol, de la conductivité hydraulique, de la culture adjacente et autres paramètres, ce qui rend la comparaison difficile.

Finalement, même si l'analyse statistique n'a pas permis de conclure à un effet de la culture adjacente, il semble que certaines cultures, comme le maïs, induisent une teneur en nitrates plus élevée dans l'eau souterraine. Ceci permet de dire que les teneurs en nitrates dans l'eau souterraine sont directement reliées à la fertilisation adjacente. Aussi, l'analyse des chlorures ne permet pas de déterminer l'origine de l'efficacité. De ce fait, dans une étude future, il faudrait combiner l'analyse des chlorures à celle des isotopes naturels de N et O.

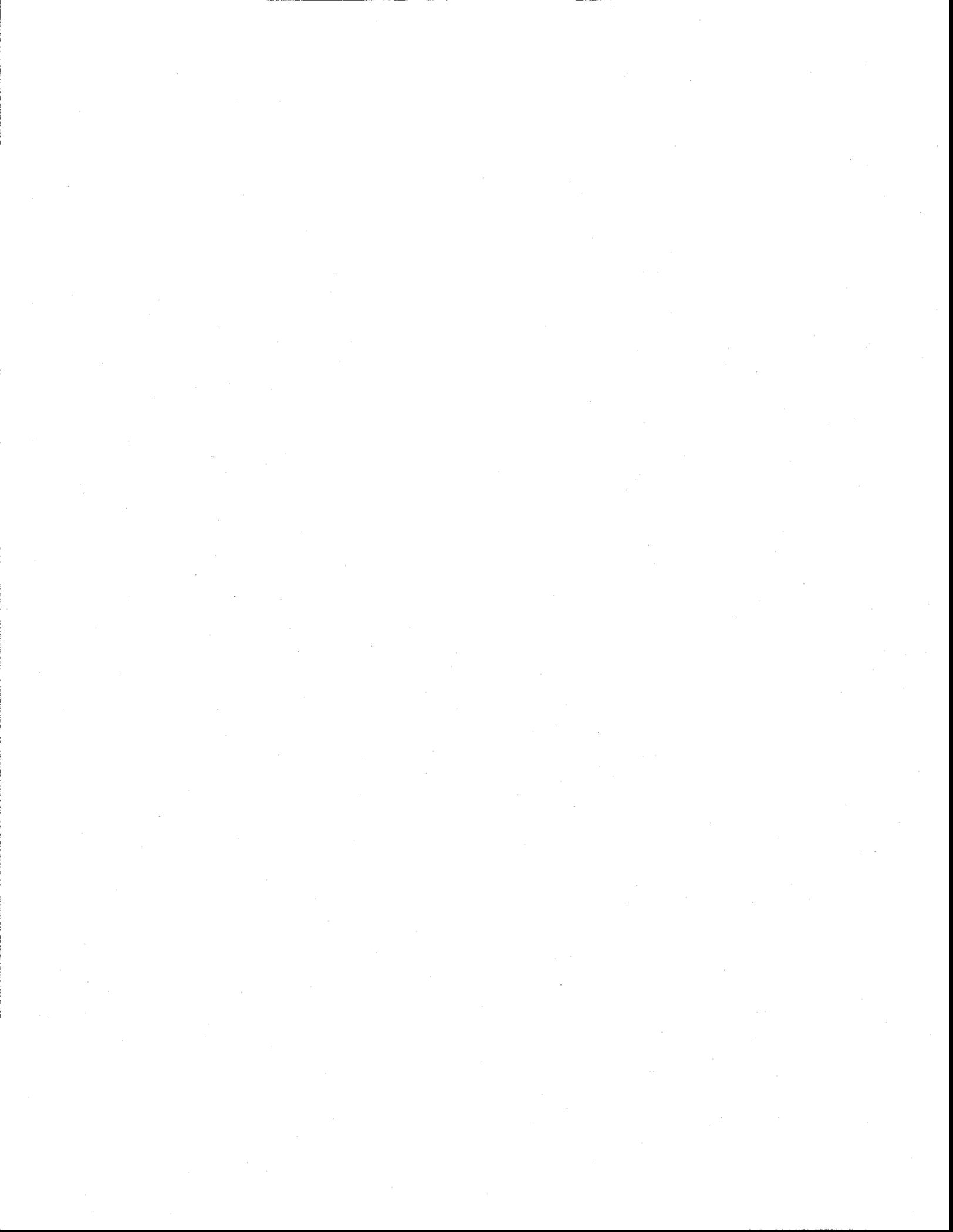
L'augmentation des teneurs en nitrates au cours des cinq années d'étude sur les bandes riveraines en végétation, porte à croire qu'une saturation des bandes riveraines a lieu pour certaines des bandes riveraines. Pour avoir une bande riveraine efficace sur de longues années, il faut que celle-ci soit entretenue par des tailles de rajeunissement et ce, de façon régulière.

Aussi, selon Lowrance (1997), il est important d'avoir des bandes riveraines sur les petits cours d'eau de manière à créer effet positif qui sera cumulatif, et donc plus visible pour les plus grand cours d'eau en aval sur le bassin versant.

En outre, les problèmes rencontrés, tel que la présence d'écoulements préférentiels devront être contrôlés par l'aménagement d'une bande riveraine uniforme. La mise en place d'une bande riveraine mixte (herbacée, arbustive) offrirait une solution intéressante permettant une couverture dense en surface ainsi que des racines profondes.

En conclusion, il est possible de dire que l'utilisation de bandes riveraines à végétation herbacée et arbustive est un moyen efficace d'éviter la pollution des cours d'eau par les nitrates provenant de la contribution des eaux souterraines. Par ailleurs, vu que les cultures adjacentes ont un certain effet sur les teneurs en nitrates, entre autres à cause de la fertilisation, une première intervention consisterait à contrôler les apports en incitant les agriculteurs à de bonnes pratiques culturales respectant l'environnement comme les plans agroenvironnementaux de fertilisation. Il serait aussi important d'encourager les agriculteurs à entretenir les bandes riveraines déjà en place.

Dans le contexte actuel de mondialisation, l'agriculture est appelée à devenir de plus en plus compétitive tout en restant respectueuse de l'environnement. Dans cette perspective, une étude future devrait se pencher sur l'étude des espèces les plus efficaces pour atténuer les teneurs en nitrates dans les eaux souterraines. Cela permettrait d'une part, d'utiliser des largeurs de bandes riveraines économiquement viables mais aussi d'encourager les producteurs à les implanter.



## BIBLIOGRAPHIE

---

- ADDISCOTT, T.M. (1997). A critical review of the value of buffer zone environments as a pollution control tool. pp. 236-243. *In* N.E. Haycock et al. (ed.) *Buffer zones : Their processes and potential in water protection*. Quest Environmental, Hapenden, UK.
- ADDY, K.L., GOLD, A.J., GROFFMAN, P.M., et JACINTHE, P.A. (1999). Ground Water Nitrate Removal in Subsoil of Forested and Mowed Riparian Buffer Zones. *J. Environ. Qual.* 28 :962-970.
- BANTON, O. (1997). Comment gérer les ressources d'eau souterraine du Québec, symposium sur la gestion de l'eau au Québec le 10-11-12 décembre 1997, vol.1 pp. 49-68, INRS-Eau, Ste-Foy, Canada.
- BANTON, O. (1997). Le capital eau : son potentiel et ses usages. Les eaux souterraines, symposium sur la gestion de l'eau au Québec le 10-11-12 décembre 1997, vol.2 pp. 45-60, INRS-Eau, Ste-Foy, Canada.
- BREN, L.J., (1993). Riparian zone, stream, and floodplain issues: a review. *J. of Hydrology*, 150: 277-299.
- CEY, E.E., RUDOLPH, D.L., ARAVENA, R., et PARKIN, G. (1999). Role of the riparian zone in controlling the distribution and fate of agricultural nitrogen near a small stream in southern Ontario. *Journal of Contaminant Hydrology*. Vol 37, pp. 45-67.
- CHALAMET, A. (1985). Effets of environmental factors on denitrification. *In* : *Denitrification in the nitrogen cycle*. Plenum Press. New-York et London. Pp7-29.
- CORRELL, D.L. (1997). Buffer zones and water quality protection : General principles. pp. 7-20. *In* N.E. Haycock et al. (ed.) *Buffer zones : Their processes and potential in water protection*. Quest Environmental, Hapenden, UK.
- COOK, R.J. (1997). The potential impact of buffer zones in agricultural practice. pp. 265-274. *In* N.E. Haycock et al. (ed.) *Buffer zones : Their processes and potential in water protection*. Quest Environmental, Hapenden, UK.
- CPVQ. (1996). *Grilles de référence en fertilisation* 2<sup>e</sup> édition. Agdex 540.
- EHRENFELD, J.G. (1987). The role of woody vegetation in preventing ground water pollution by nitrogen from septic tank leachate. *Water Res.* 21 :605-614.

Environnement Canada. «L'eau : source de vie sur terre ». In Environnement Canada. La nature de l'eau. Les eaux souterraines. *Site d'Environnement Canada*, [En ligne].

[http://www.ec.gc.ca/water/fr/nature/grdwtr/f\\_grdwtr.htm](http://www.ec.gc.ca/water/fr/nature/grdwtr/f_grdwtr.htm) (Page consultée le 29 mars 2000)

GILLIAM, J.W., PARSONS, J.E., et MIKKELSEN R.L. (1997). Nitrogen dynamics and buffer zones. pp. 54-61. In N.E. Haycock et al. (ed.) *Buffer zones : Their processes and potential in water protection*. Quest Environmental, Hapenden, UK.

GOLD, A.J. et KELLOGG, D.Q. (1997). Modelling Internal Processes of Riparian Buffer Zones. pp. 192-207. In N.E. Haycock et al. (ed.) *Buffer zones : Their processes and potential in water protection*. Quest Environmental, Hapenden, UK.

GROFFMAN, P.M., et TIEDJE, J.M. (1988). Denitrification Hysteresis During Wetting and Drying Cycles in Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52 :1626-1629.

GROFFMAN, P.M., GOLD, A.J., et SIMMONS, R.C. (1992). Nitrate Dynamics in Riparian Forests : Microbial Studies. *J. Environ. Qual.* 21 :666-671.

HAYCOCK, N.E. et PINAY, G.(1993). Groundwater Nitrate Dynamics in Grass and Poplar Vegetated Riparian Buffer Strips during the winter. *J. Environ. Qual.* 22 :273-278.

HAYCOCK, N.E., PINAY, G., BURT, T.P., et GOULDING, K.W.T. (1997). Buffer zones : Current concerns and Future directions. pp. 305-312. In N.E. Haycock et al. (ed.) *Buffer zones : Their processes and potential in water protection*. Quest Environmental, Hapenden, UK.

KAUARK LEITE, L.A.(1990). Réflexion sur l'utilité des modèles mathématiques dans la gestion de la pollution diffuse d'origine agricole. Thèse de doctorat. École nationale des ponts et chaussées. France. pp. 113-134.

LABCHIR, R. (1999). Atténuation de la contamination nitraté des eaux souterraines dans la zone riveraine des cours d'eau. Thèse de doctorat. Université du Québec, INRS-Eau. Ste-Foy, Canada.281p.

LAROCQUE, M. (1992). Identification des paramètres du cycle de l'azote qui conditionnent la fiabilité d'un modèle simulant le lessivage des nitrates. Mémoire de maîtrises. Université du Québec, INRS-Eau. Ste-Foy, Canada.120 p.

LOWRANCE, R.R.. et PIONKE, H.B. (1989). Transformations and movement of nitrate in aquifer systems. In "Nitrogen Management and Ground Water Protection", Follett R.F. (éd.). USDA-ARS, U.S.A., pp. 373-392.

LOWRANCE, R. (1992). Groundwater Nitrate and Denitrification in a Coastal Plain Riparian Forest. *J. Environ. Qual.* 21 :401-405.

LOWRANCE, R. (1997). The Potential Role of Riparian Forests as Buffers zones. pp. 128-133. *In* N.E. Haycock et al. (ed.) Buffer zones : Their processes and potential in water protection. Quest Environmental, Hapenden, UK.

MEF. «Rivière Boyer ».In mef. environnement.

*Site du ministère de l'environnement et de la faune*, [En ligne].

<http://www.mef.gouv.qc.ca/fr/environn/slv2000/boyer/index.htm> (Page consultée le 21 février 2000)

MENGIS, M., SCHIFF, S.L., HARRIS, M., ENGLISH, M.C., ARAVENA. R., ELGOOD, R.J., et MACLEAN, A. (1999). Multiple Geochemical and Isotopic Approaches for Assessing Ground Water NO<sub>3</sub><sup>-</sup> Elimination in a riparian Zone. *Ground Water*. Vol 37. No. 3. pp. 448-457.

NELSON, W.M., GOLD, A.J., et GROFFMAN, P.M. (1995). Spatial and Temporal Variation in Groundwater Nitrate Removal in a Riparian Forest. *J. Environ. Qual.* 24 :691-699.

NUNEZ DELGADO, A., LOPEZ PERIAGO, E., et DIAZ-FIERROS.(1997). Effectiveness of buffer strips for attenuation of ammonium and nitrate levels in runoff from pasture amended with cattle slurry or inorganic fertiliser. pp. 134-139. *In* N.E. Haycock et al. (ed.) Buffer zones : Their processes and potential in water protection. Quest Environmental, Hapenden, UK.

OBSBORNE, L.L. et KOVACIC, D.A. (1993). Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. *Freshwater Biology*, 29: 243-258.

PAUL, E.A. et CLARK, F.E (1989). Soil microbiology and biochemistry. Academic Press, inc. San-Diego, California. 275p.

PETERJOHN, W., et CORREL, D.L. (1984). Nutrient dynamics in agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 65(5): 1466-1475.

Radio-Canada. «Forum mondial de l'eau ». In Radio-Canada. Nouvelles.

*Site des nouvelles de Radio-Canada*, [En ligne].

<http://radio-Canada.ca/url.asp ?/nouvelles/43/43289.htm> (Page consultée le 13 mars 2000)

RATEL, M.O. (1992). Élimination des nitrates des eaux potables. Document technique du fond nationale pour le développement des adductions d'eau. Office international de l'eau. Limoge. France.61p.

SAS institute inc. Version 6.12.

SIMMONS, R.C., GOLD, A.J., et GROFFMAN, P.M. (1992). Nitrate Dynamics in Riparian Forests : Groundwater studies. *J. Environ. Qual.* 21 :659-665.

SMITH, R.L. et DUFF, J.H. (1988). Denitrification in a sand and gravel aquifer. *Appl. Environ. Microbiol.* 54 :1071-1978.

SOUCY, D. (1998). Cartographie des indicateurs de qualité des eaux souterraines à l'échelle régionale. Mémoire de maîtrises. Université du Québec, INRS-Eau. Ste-Foy, Canada. 82p.

STEVENSON, F. J. (1982). Origin and Distribution of Nitrogen in Soil. ASA-CSSA-SSSA Madison, Wisconsin USA. *Agronomy Monograph*, 22 : 1-42.

VÉZINA, L. (1994). L'engazonnement des berges de cours d'eau agricoles et ses effets de mitigation sur l'établissement des adventices et l'érosion hydrique. *Agrosol VII (1)*. pp. 11-19.

# **ANNEXES**

---

## **Annexe A**

### **Efficacité**

Il n'y avait que 2 piézomètres par série soit un piézomètre champ et un autre rivière. De ce fait, il n'y avait pas deux portions de bande riveraine.

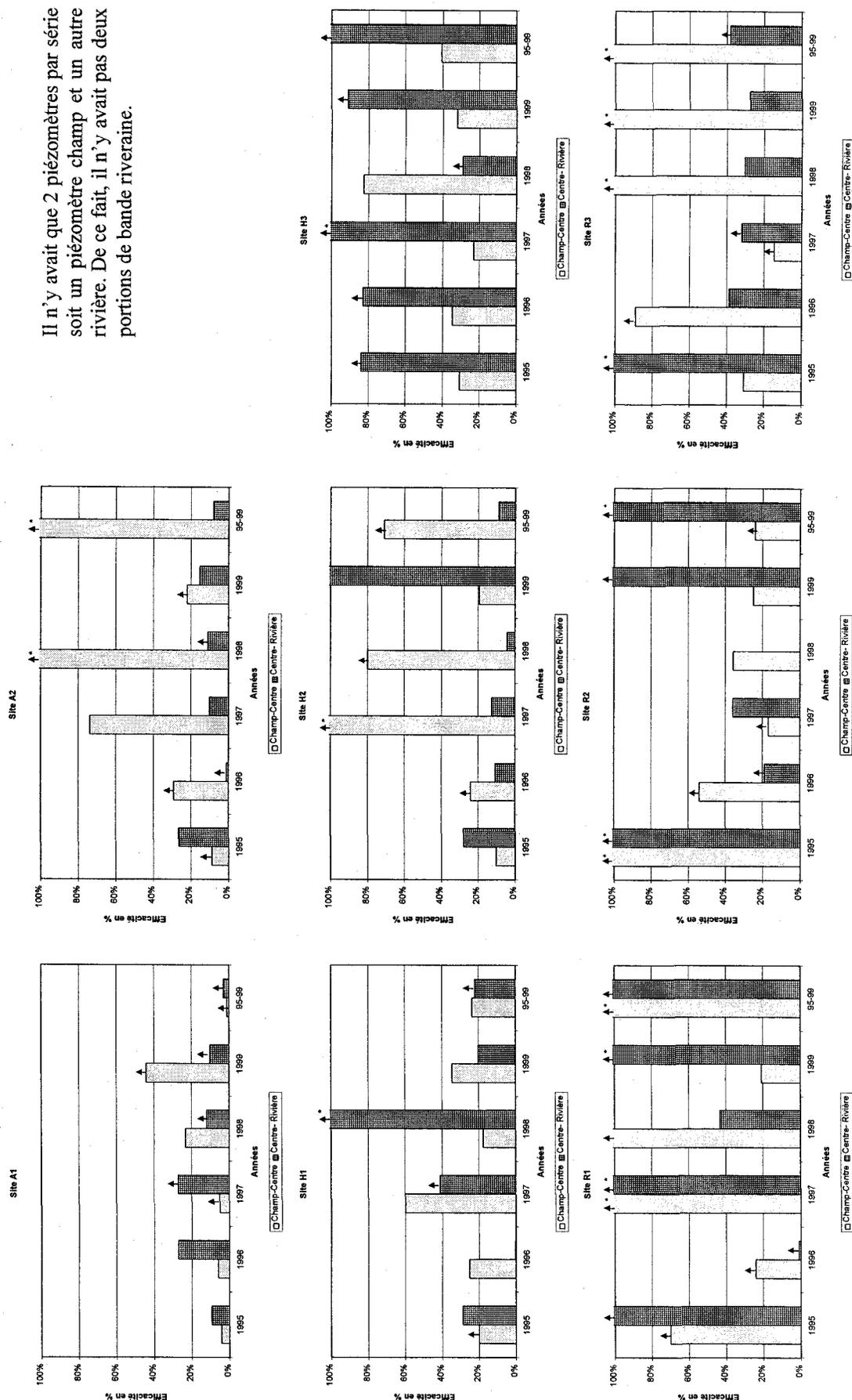


Figure A1 : Efficacité relative des bandes riveraines pour les cinq années d'études pour chaque site étudié dans les deux portions de la bande riveraine : Champ-centre et centre-rivière (\* valeur >100% et ↑ augmentation des teneurs en nitrates).

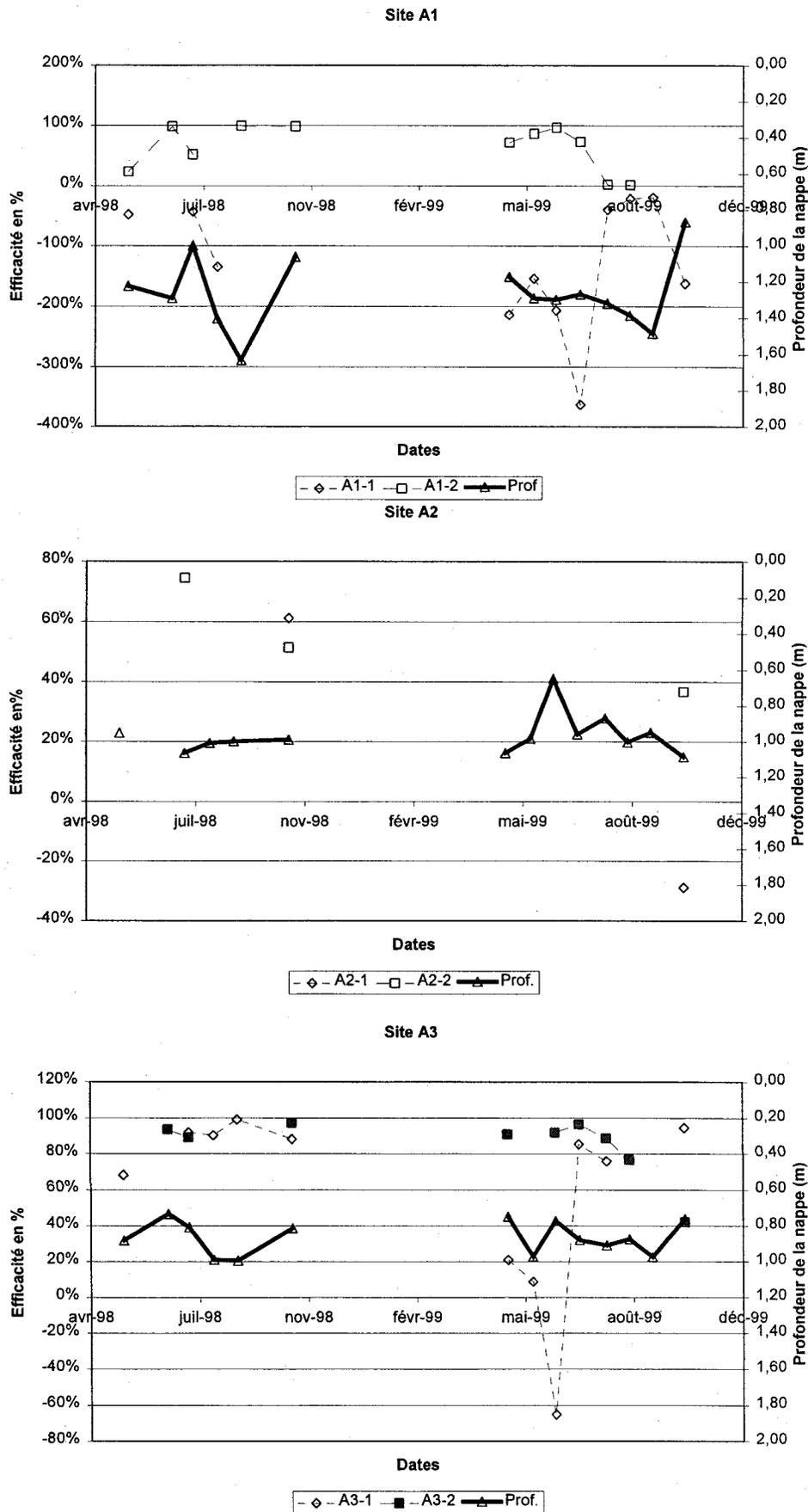


Figure A2 : Efficacité des bandes riveraines en% en fonction de la profondeur de la nappe.

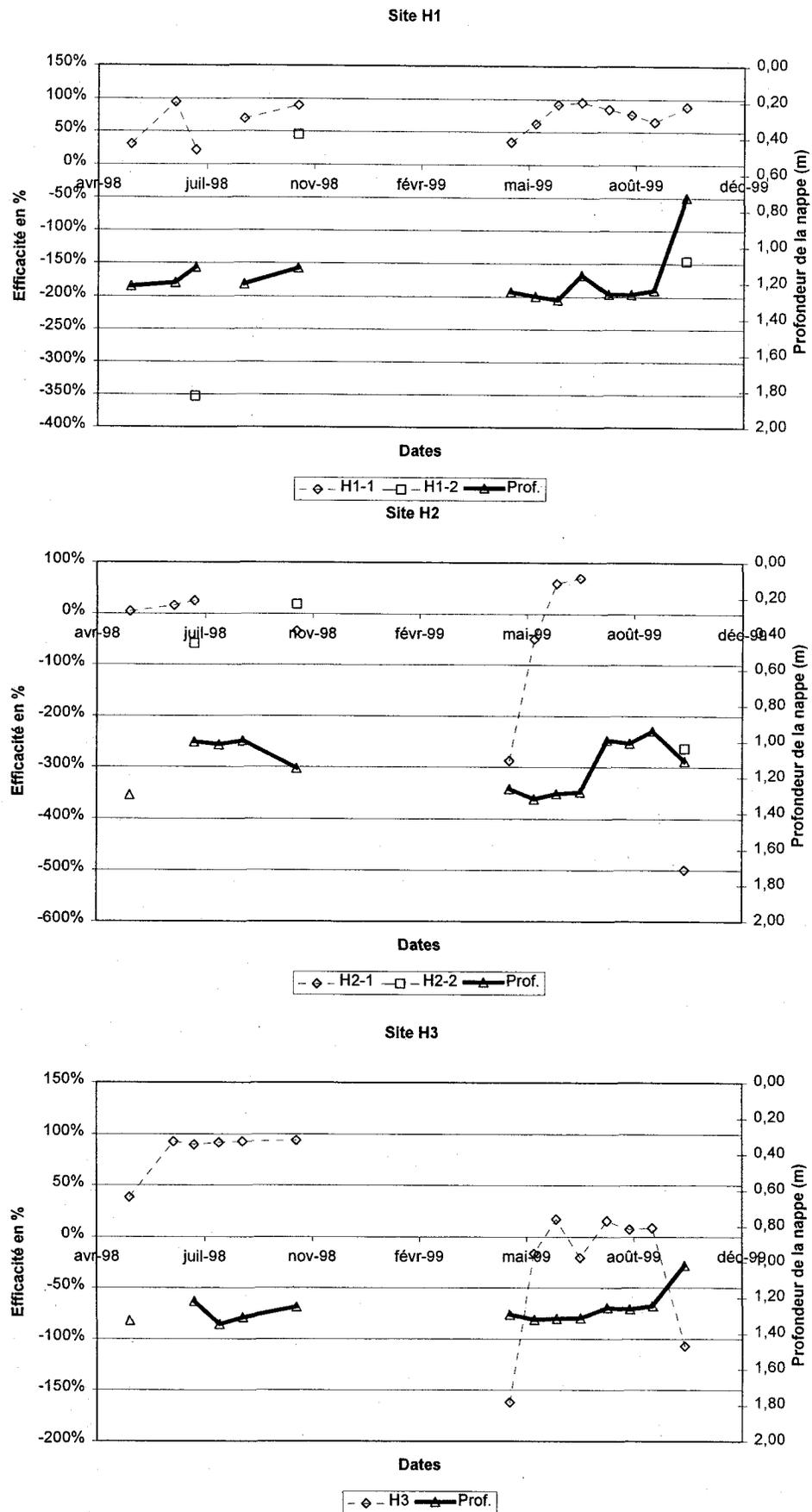


Figure A3 : Efficacité des bandes riveraines en % en fonction de la profondeur de la nappe.

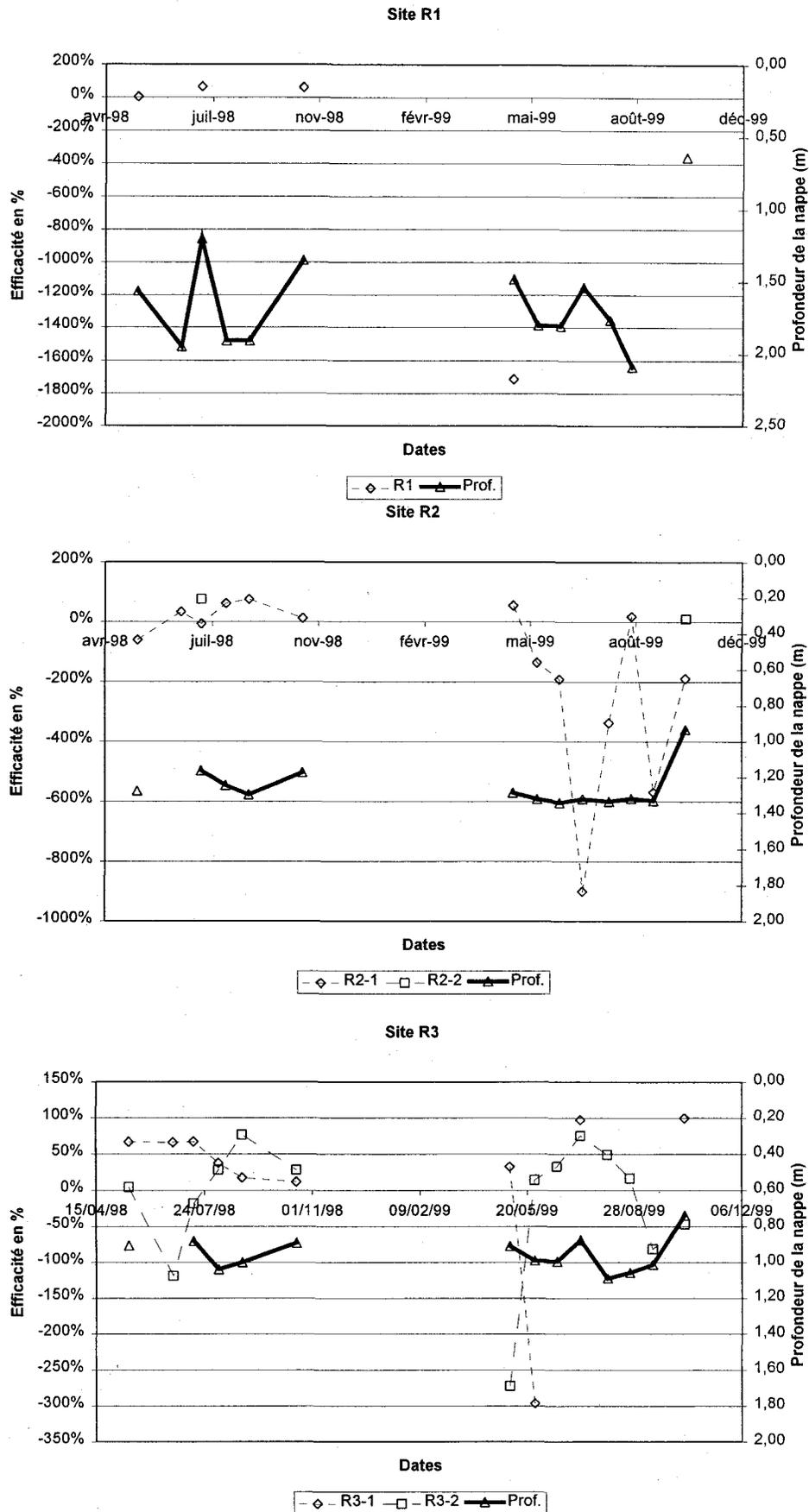


Figure A4 : Efficacité des bandes riveraines en % en fonction de la profondeur de la nappe.

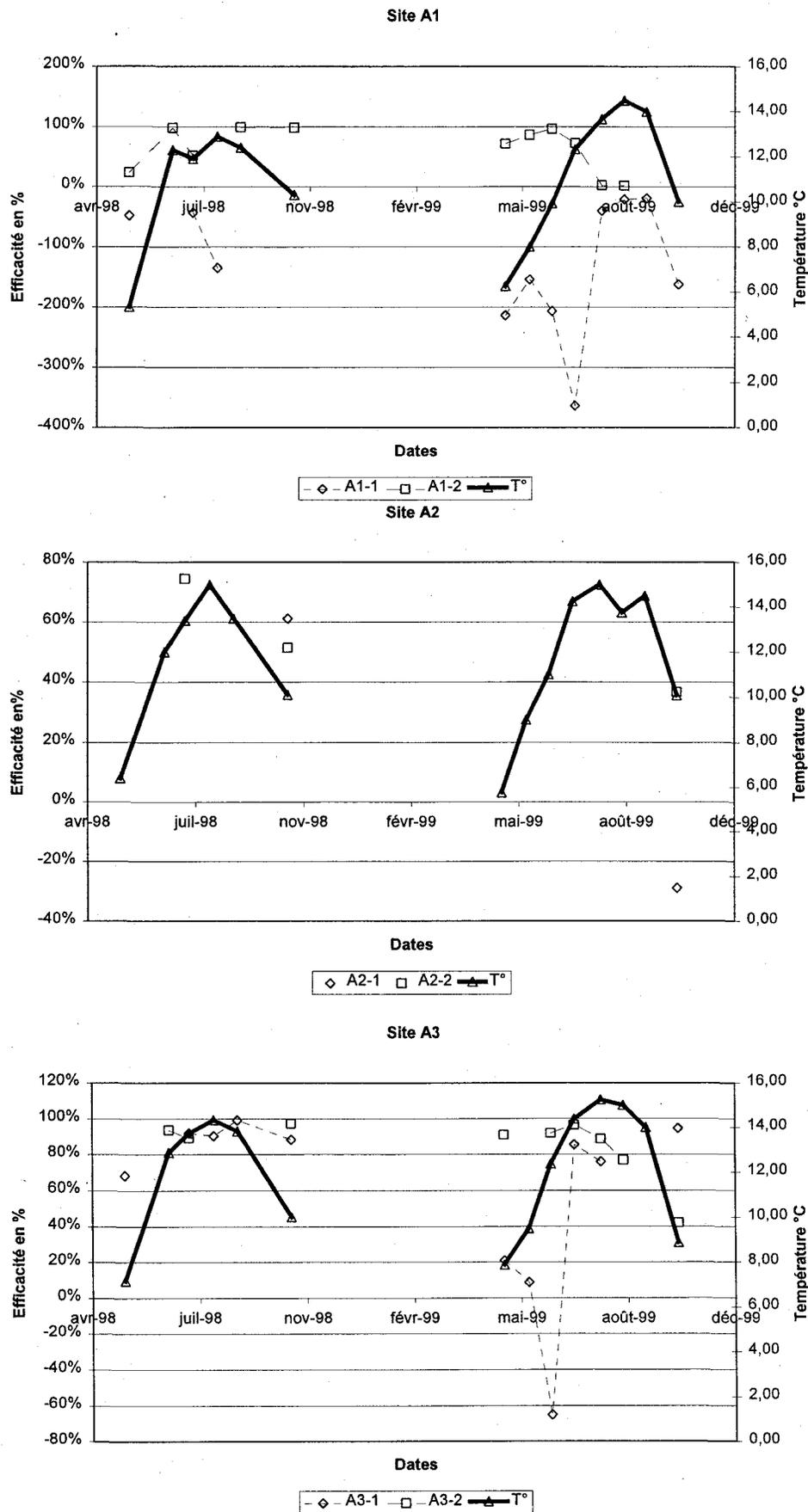


Figure A5 : Efficacité des bandes riveraines en % en fonction de la température de l'eau souterraine.

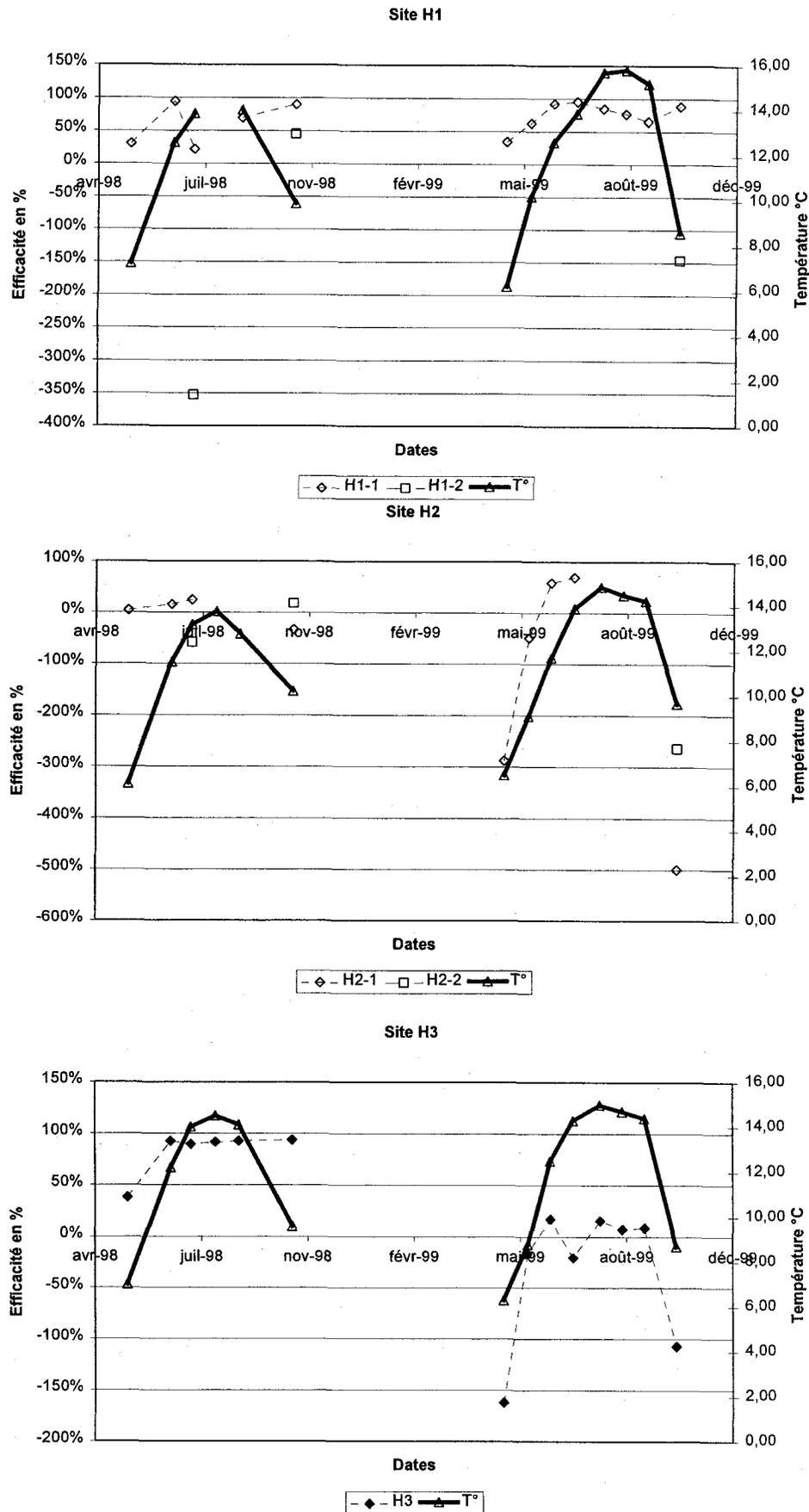


Figure A6 : Efficacité des bandes riveraines en % en fonction de la température de l'eau souterraine.

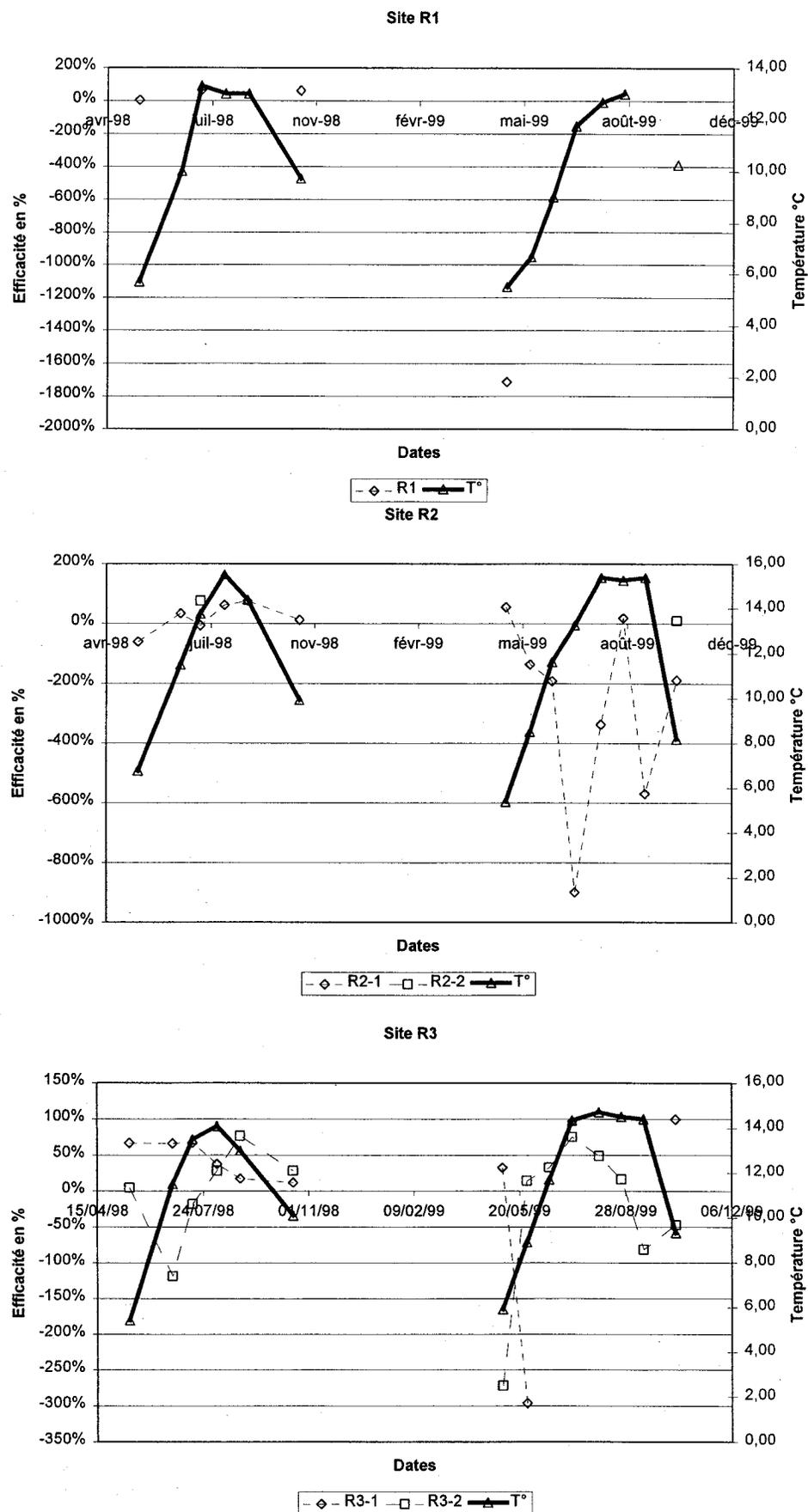


Figure A7 : Efficacité des bandes riveraines en % en fonction de la température de l'eau souterraine.

## **Annexe B**

### **Effet de la culture adjacente**

Tableau B1: Teneurs moyennes en nitrates (mg N/L) pour la bande riveraine aux différents sites d'étude.

A1			H1			R1		
moy	écart-type	culture	moy	écart-type	culture	moy	écart-type	culture
1992		Fourrage	1992		Orge	1992		Foin- Fourrage
1993		Fourrage	1993		Grains mélangés	1993		Maïs
1994		Fourrage	1994		Grains mélangés	1994		Maïs
1995	3,33	Fourrage	1995	8,03	Maïs	1995	8,49	Maïs
1996	12,71**	Fourrage	1996	16,86**	Maïs	1996	26,24°	Foin (trèfle)
1997	17,17**	Maïs	1997	24,19°	Maïs	1997	22,70°	Foin (trèfle)
1998	26,03°	Maïs	1998	7,80	Grains mélangés	1998	30,63°	Fourrage (trèfle)
1999	20,41°	Maïs	1999	10,14**	Maïs	1999	9,17	Fourrage (l.t.f)
A2			H2			R2		
moy	écart-type	culture	moy	écart-type	culture	moy	écart-type	culture
1992		Maïs	1992		Luzerne- Graminée	1992		Foin- Fourrage
1993		Maïs	1993		Luzerne- Graminée	1993		Foin- Fourrage
1994		Maïs	1994		Luzerne- Graminée	1994		Orge
1995	4,82	Luzerne	1995	4,87	Maïs	1995	5,43	Orge
1996	10,99**	Luzerne	1996	16,79**	Maïs	1996	10,03**	Foin (trèfle)
1997	17,14**	Luzerne	1997	29,73°	Orge	1997	10,16**	Foin (trèfle)
1998	10,04**	Luzerne + graminées	1998	9,09	Canola	1998	10,20**	Fourrage (trèfle)
1999	3,88	Fourrage	1999	6,32	Maïs	1999	5,31	Canola
A3			H3			R3		
moy	écart-type	culture	moy	écart-type	culture	moy	écart-type	culture
1992		Foin- Luzerne	1992		Grains mélangés	1992		Maïs
1993		Foin- Luzerne	1993		Grains mélangés	1993		Maïs
1994		Foin- Luzerne	1994		Maïs	1994		Maïs
1995	11,26**	Maïs	1995	14,19**	Maïs	1995	13,93**	Maïs
1996	14,59**	Maïs	1996	27,22°	Blé	1996	15,70**	Maïs
1997	60,56°	Luzerne	1997	44,36°	Grains mélangés	1997	25,78°	Maïs
1998	29,62°	Fourrage (luzerne)	1998	15,39**	Soya	1998	15,65**	Maïs
1999	12,87**	Fourrage (L et G)	1999	4,92	Maïs	1999	29,93°	Maïs

\*\* =concentrations entre 10 et 20 mg N/L

° =concentrations supérieures à 20 mg N/L

Tableau B2 : Teneurs moyennes en nitrates (mg N/L) à la limite champ-bande riveraine aux différents sites d'étude.

	A1			H1			R1		
	1		2	1		2	1		2
	moy	écart-type	moy	moy	écart-type	moy	écart-type	moy	écart-type
1992									
1993									
1994									
1995	4,69	3,50	3,20	11,06**	5,44	8,33	5,61	7,75	*
1996	19,71**	5,80	12,17**	27,69*	13,04	15,41**	18,88**	9,08	*
1997	16,76**	2,19	22,10*	86,23*	43,99	21,30*	9,97	8,00	*
1998	19,11**	35,55	57,63*	15,18**	13,22	6,04	8,40	16,07**	*
1999	2,78	2,38	44,01*	20,44*	22,32	14,11**	4,03	2,25	*
	A2			H2			R2		
	1		2	1		2	1		2
	moy	écart-type	moy	moy	écart-type	moy	écart-type	moy	écart-type
1992									
1993									
1994									
1995	5,88	6,84	4,49	5,25	2,96	7,58	4,03	3,78	1,42
1996	18,06**	20,71	8,86	16,57**	6,17	16,29**	6,11	2,00	12,56**
1997	45,00*	*	32,30*	11,42**	10,30	57,99*	15,70**	17,37	*
1998	2,47	*	2,31	7,02	12,01	3,26	10,42**	19,72	1,85
1999	1,59	*	1,72	2,48	1,31	7,80	4,54	7,28	3,98
	A3			H3			R3		
	1		2	1		2	1		2
	moy	écart-type	moy	moy	écart-type	moy	écart-type	moy	écart-type
1992									
1993									
1994									
1995	15,66**	11,51	16,92**	28,90*	15,86	*	40,00*	39,29	8,04
1996	16,21**	3,84	15,29**	51,20*	9,17	*	17,85**	9,96	10,94**
1997	64,16*	42,71	128,13*	69,24*	45,66	*	23,03*	1,90	45,11*
1998	50,57*	65,52	42,07*	42,86*	16,73	*	17,40**	17,02	14,15**
1999	9,16	7,66	30,59*	6,16	5,66	*	230,72*	320,23	6,27

\*\* = concentrations entre 10 et 20 mg N/L

\* = concentrations supérieures à 20 mg N/L



## **Annexe C**

### **Résultats et tendances sur cinq années**

(Température, pH, profondeur de la nappe, teneur en nitrates de l'eau souterraine et  
Chlorures)

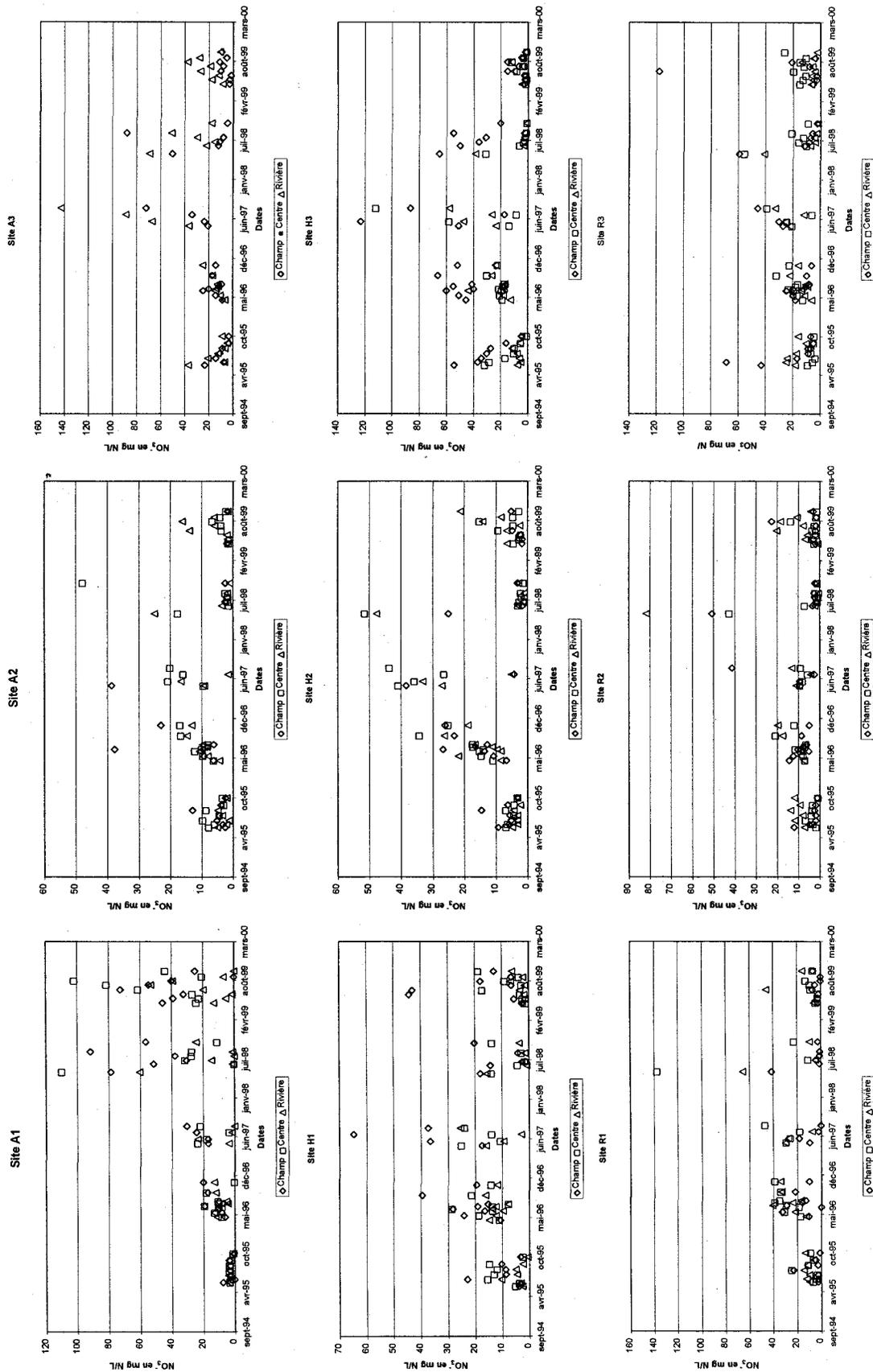


Figure C1 : Évolution des teneurs en nitrates en nitrates de l'eau souterraine sur les cinq années d'étude aux différents sites étudiés.

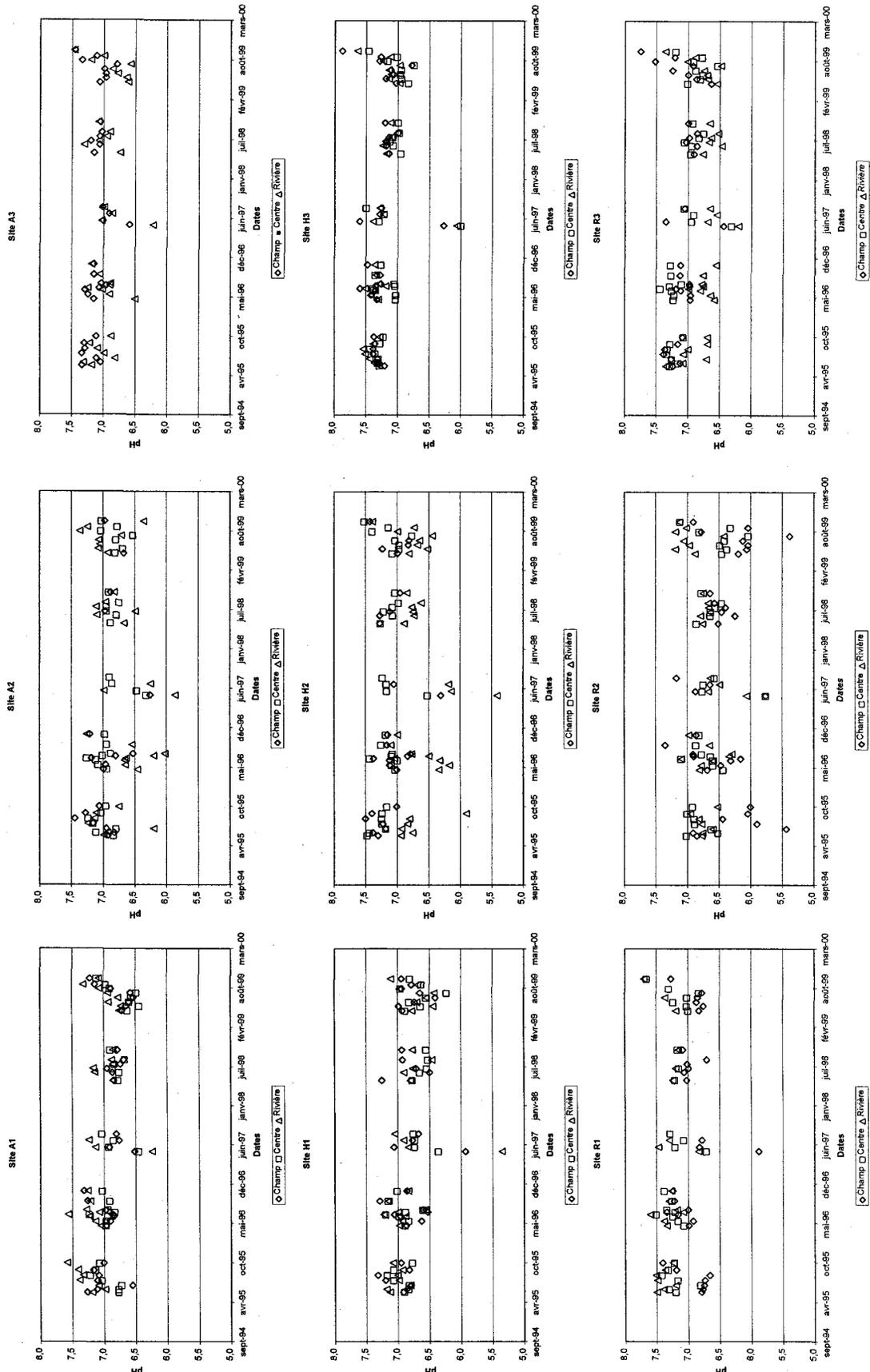


Figure C2 : Évolution du pH de l'eau souterraine sur les cinq années d'étude aux différents sites.

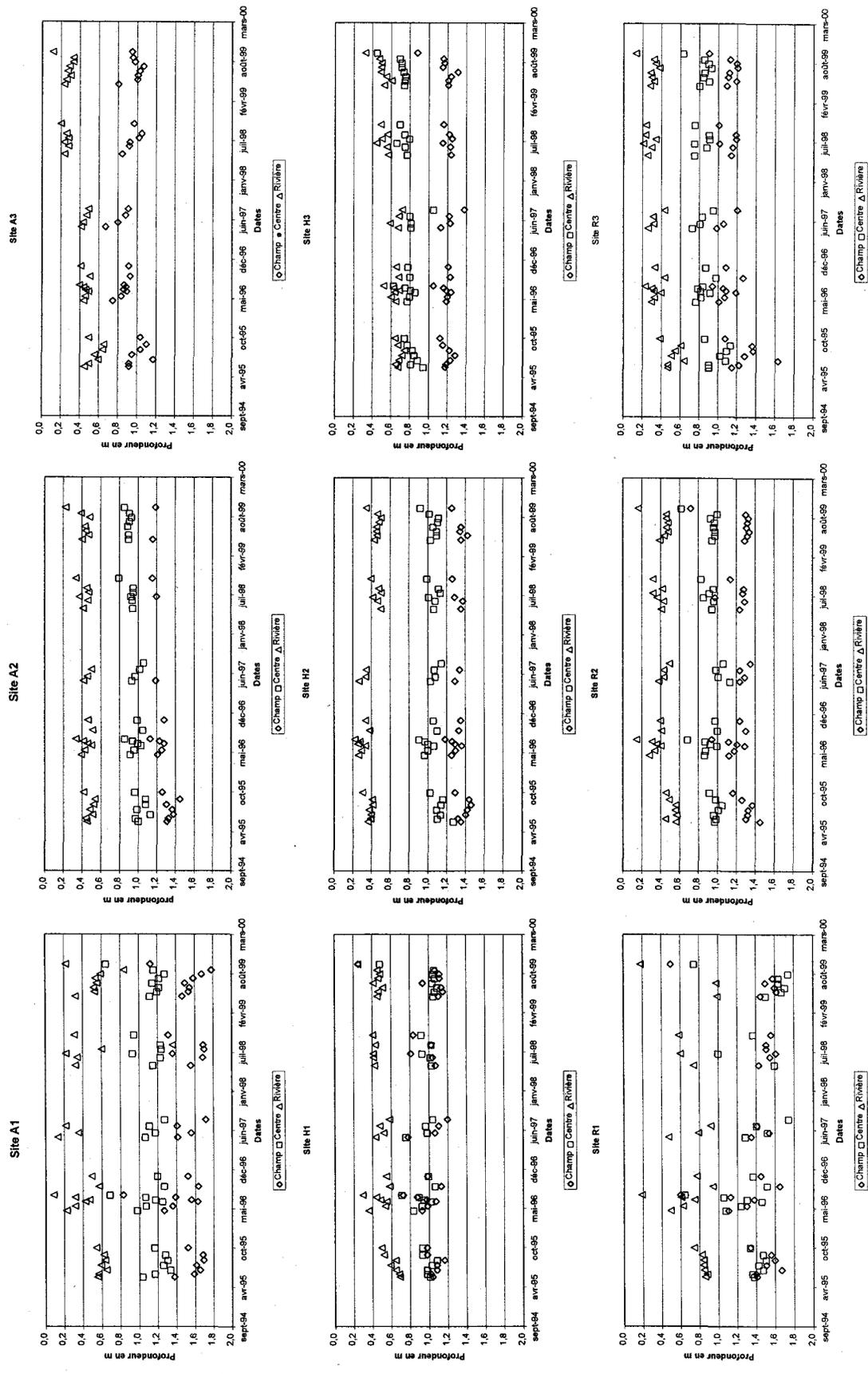


Figure C3 : Evolution de la profondeur de la nappe sur les cinq années d'étude aux différents sites.

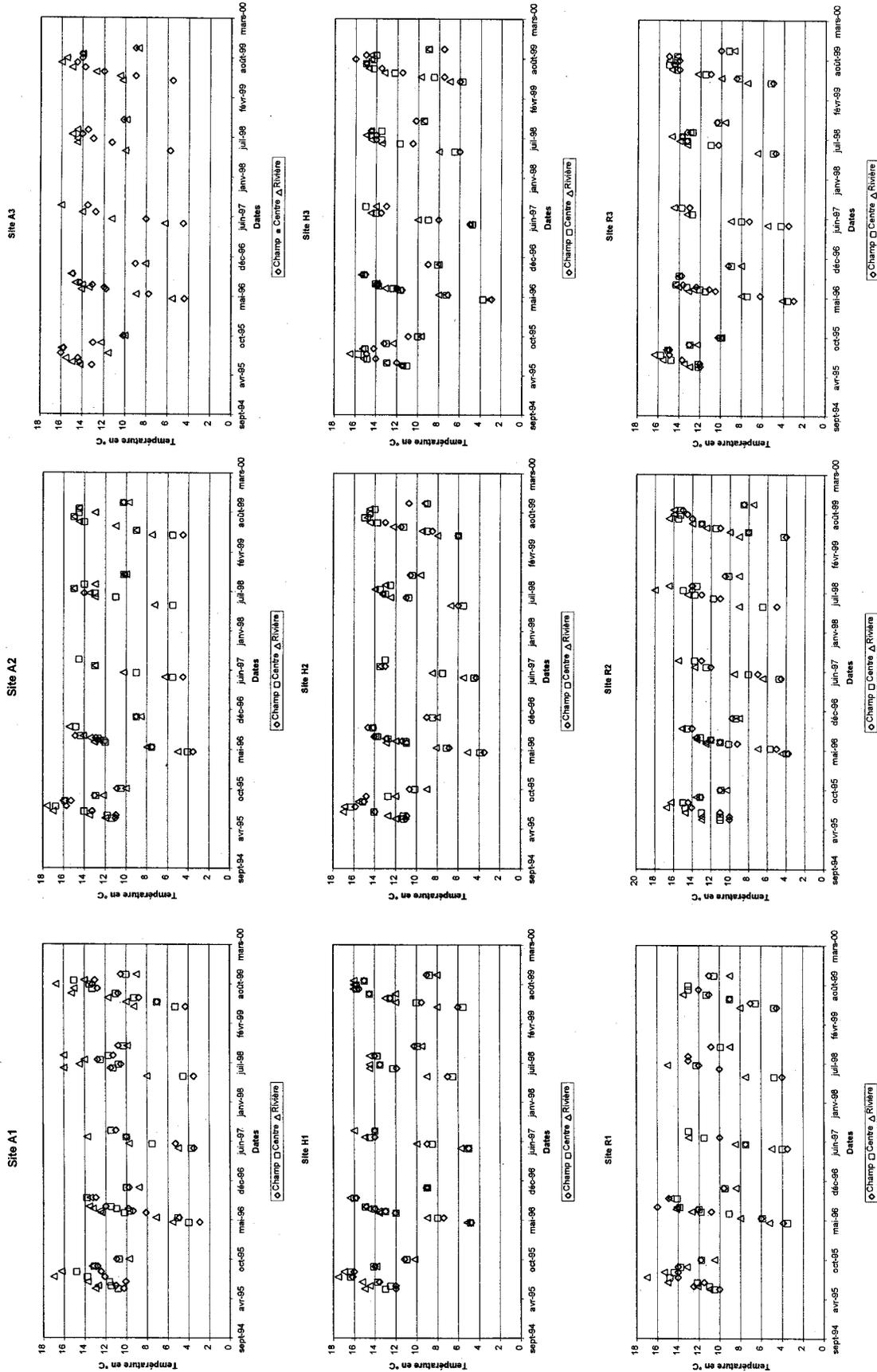


Figure C4 : Évolution de la température de l'eau souterraine sur les cinq années d'étude aux différents sites.

Site A1

**Plézo 1  
Champ**

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	2,90	7,06	10,00	1,60
	15-juin	1,84	7,11	11,00	1,59
	05-jul	2,97	6,99	10,10	1,68
	30-jul	6,49	7,33	12,00	1,65
	25-aout	11,09	7,37	12,40	1,73
	21-sept	6,36	7,36	12,90	1,71
	27-oct	1,18	7,16	11,00	1,56
1996	02-mai	26,02	6,89	2,90	1,36
	25-mai	17,44	6,86	4,90	1,40
	19-jun	12,59	6,86	9,00	1,68
	27-jun	22,47	6,50	9,70	1,62
	10-jul	21,45	7,09	9,80	1,42
	21-jul	17,11	7,33	13,00	0,74
	04-sept	26,12	7,50	13,00	1,68
1997	26-oct	12,49	7,46	9,50	1,57
	14-mai	15,59	6,84	4,00	1,51
	05-jun	15,32	6,95	5,50	1,62
	10-jul	*	*	*	*
	12-aout	19,26	6,62	11,00	1,76
	15-mai	19,53	6,85	3,50	1,82
	25-jun	1,13	6,89	13,00	1,71
1998	14-jul	1,60	6,96	9,50	1,46
	6-aout	0,60	6,67	13,00	1,74
	26-aout	90,32	6,81	11,00	1,72
	17-oct	2,30	6,83	10,50	1,44
	4-mai	1,77	6,59	4,50	1,60
	27-mai	0,92	6,51	7,00	1,71
	17-jun	1,03	6,61	6,00	1,68
1999	9-jul	0,96	6,45	9,50	1,65
	3-aout	3,46	6,29	12,50	1,70
	24-aout	7,78	6,63	12,50	1,81
	14-sept	4,39	7,14	13,00	1,79
	14-oct	1,92	7,19	10,00	1,18

**Plézo 2  
Centre**

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	*	*	*	*
	15-jun	4,24	7,01	11,10	1,34
	30-jul	4,17	7,29	13,00	1,31
	25-aout	7,55	7,40	14,00	1,34
	21-sept	4,00	7,32	13,10	1,32
	27-oct	0,83	7,00	10,90	1,23
	02-mai	9,87	7,02	4,10	1,06
1996	25-mai	12,82	7,03	5,00	1,15
	19-jun	13,07	7,13	9,50	1,31
	27-jun	13,35	7,32	9,20	1,24
	10-jul	8,54	6,82	10,30	1,15
	21-jul	8,78	6,79	11,00	0,79
	04-sept	17,59	6,88	13,00	1,33
	26-oct	15,22	7,05	10,00	1,27
1997	14-mai	16,68	6,28	4,00	1,16
	05-jun	8,71	6,80	8,00	1,26
	10-jul	17,01	6,82	10,00	1,19
	12-aout	41,85	7,16	11,00	1,35
	15-mai	24,16	6,73	4,00	1,30
	25-jun	1,13	6,69	11,50	1,38
	14-jul	0,78	6,75	10,00	1,15
1998	6-aout	1,03	6,70	12,00	1,39
	26-aout	1,05	6,45	11,00	1,37
	17-oct	1,67	6,62	10,30	1,15
	4-mai	5,67	6,66	5,00	1,31
	27-mai	0,77	6,36	7,00	1,36
	17-jun	1,14	6,56	9,00	1,39
	9-jul	2,27	6,48	10,00	1,37
1999	3-aout	2,55	6,36	12,50	1,39
	24-aout	10,45	7,00	13,00	1,43
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	3,86	7,08	10,00	0,84

**Plézo 3  
Rivière**

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	1,97	7,23	11,00	0,65
	15-jun	2,37	6,90	12,00	0,87
	05-jul	2,83	7,16	14,00	0,81
	30-jul	3,34	7,51	16,50	0,69
	25-aout	3,67	7,50	15,50	0,76
	21-sept	2,00	7,46	13,60	0,78
	27-oct	0,48	8,03	10,50	0,68
1996	02-mai	9,70	7,03	5,00	0,17
	25-mai	10,04	7,18	6,30	0,25
	19-jun	7,26	7,28	13,00	0,38
	27-jun	7,35	7,52	11,00	0,53
	10-jul	6,13	7,13	12,00	0,38
	21-jul	5,86	7,30	13,20	0,09
	04-sept	11,85	7,25	14,00	0,68
1997	26-oct	11,63	7,30	8,90	0,58
	14-mai	*	*	*	*
	05-jun	5,88	7,08	9,00	0,43
	10-jul	26,73	7,00	12,50	0,30
	12-aout	*	*	*	*
	15-mai	27,42	6,76	7,50	0,45
	25-jun	*	*	*	*
1998	14-jul	2,29	7,14	12,00	0,49
	6-aout	1,88	6,86	14,00	0,60
	26-aout	*	*	*	*
	17-oct	3,10	6,77	10,00	0,48
	4-mai	5,56	6,62	7,50	0,68
	27-mai	2,34	6,47	9,00	0,65
	17-jun	3,16	6,60	11,00	0,90
1999	9-jul	4,45	6,47	13,50	0,75
	3-aout	4,65	6,67	14,00	0,78
	24-aout	9,44	6,84	14,50	0,79
	14-sept	5,24	7,21	14,00	0,84
	14-oct	5,04	7,08	9,00	0,22

Site A1

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	3,71	7,15	15,00	0,45
	15-juin	3,23	7,07	13,50	0,46
	05-juil	3,90	7,02	13,50	0,49
	30-juil	3,21	7,27	17,50	0,49
	25-sept	3,41	7,17	17,00	0,51
1986	21-sept	3,83	7,37	13,00	0,49
	27-oct	0,86	7,14	9,00	0,42
	02-nov	11,10	7,07	6,10	0,28
	25-nov	13,31	7,10	8,00	0,38
	19-déc	8,21	7,17	11,90	0,47
1986	19-juin	10,44	7,61	14,20	0,41
	27-juin	10,44	7,61	14,20	0,41
	10-juil	4,33	7,03	14,50	0,24
	21-juil	5,12	7,26	14,00	0,08
	04-sept	12,01	7,18	13,00	0,48
1987	28-sept	13,07	7,21	8,70	0,40
	14-nov	3,67	6,24	5,00	0,13
	05-déc	23,49	7,18	10,50	0,27
	10-déc	1,70	7,48	15,00	0,13
	12-sept	*	*	*	*
1988	15-mai	60,30	6,56	6,50	0,19
	25-juin	1,00	7,15	16,00	0,34
	14-juil	14,63	7,20	17,00	-0,05
	6-sept	*	*	*	*
	28-sept	0,97	6,88	16,00	1,38
1989	4-nov	12,98	6,89	11,00	-0,04
	27-nov	5,23	6,98	11,00	0,20
	17-déc	1,24	7,25	12,50	0,23
	9-juil	19,68	7,08	17,00	0,35
	3-sept	53,10	7,20	16,00	0,29
1989	24-sept	39,17	7,31	19,00	0,39
	14-sept	6,69	7,44	*	*
	14-oct	*	*	*	*

Plézo 6 Rivière

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	3,03	6,77	10,80	1,04
	15-juin	2,80	6,77	11,50	1,17
	05-juil	1,93	6,44	12,20	1,33
	30-juil	3,68	6,79	14,50	1,21
	25-sept	3,37	7,05	15,80	1,27
1986	21-sept	2,58	6,96	13,10	1,24
	27-oct	1,12	7,16	10,50	1,10
	02-nov	8,22	6,83	3,60	0,90
	25-nov	12,82	6,91	5,10	1,00
	19-déc	10,64	6,77	10,90	1,19
1986	19-juin	19,35	7,16	10,20	1,11
	27-juin	19,35	7,16	10,20	1,11
	10-juil	10,15	6,84	11,60	0,99
	21-juil	10,71	7,09	12,00	0,58
	04-sept	19,24	6,85	14,60	1,21
1987	28-sept	18,37	7,01	10,00	1,12
	14-nov	23,64	6,63	3,50	0,97
	05-déc	15,09	7,06	7,00	1,09
	10-déc	3,49	6,89	10,00	1,03
	12-sept	22,05	6,80	12,00	1,20
1988	15-mai	109,97	6,63	5,00	1,01
	25-juin	*	6,83	11,00	1,09
	14-juil	31,00	6,66	11,50	0,72
	6-sept	27,46	6,97	13,00	1,10
	28-sept	27,04	6,80	12,50	1,10
1989	17-oct	11,08	6,99	10,20	0,75
	4-nov	24,22	6,59	5,50	0,93
	27-nov	22,63	6,52	7,00	1,04
	17-déc	26,70	6,64	9,50	1,05
	9-juil	61,37	6,85	12,00	0,93
1989	3-sept	81,56	6,61	14,00	1,05
	24-sept	102,00	6,81	14,00	1,13
	14-sept	20,61	6,97	15,00	1,16
1989	14-oct	44,00	7,15	10,00	0,46

Plézo 5 Centre

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	7,36	7,47	10,50	1,16
	15-juin	*	*	*	*
	05-juil	2,26	6,44	10,00	1,63
	30-juil	2,77	6,98	12,20	1,58
	25-sept	2,80	6,90	12,50	1,68
1986	21-sept	3,44	6,95	12,70	1,66
	27-oct	0,54	6,93	10,90	1,49
	02-nov	6,07	7,04	3,00	1,18
	25-nov	6,12	6,62	4,90	1,32
	19-déc	10,15	6,83	8,20	1,58
1986	19-juin	19,25	7,21	9,00	1,50
	27-juin	6,87	6,73	9,90	1,36
	10-juil	10,05	6,62	11,00	0,92
	21-juil	16,96	7,02	12,80	1,59
	04-sept	19,89	7,17	10,00	1,48
1987	14-nov	16,80	6,19	3,00	1,32
	05-déc	16,93	6,66	5,00	1,50
	10-déc	24,29	6,76	10,00	1,41
	12-sept	30,38	6,79	11,00	1,68
	15-mai	76,64	6,84	3,50	1,50
1988	25-juin	51,21	6,84	10,00	1,67
	14-juil	30,47	6,94	11,50	1,27
	6-sept	37,75	6,81	12,50	1,67
	28-sept	91,51	6,56	11,50	1,67
	17-oct	56,22	6,74	11,00	1,20
1989	4-nov	45,57	6,82	4,00	1,34
	27-nov	36,80	6,78	7,00	1,37
	17-déc	32,19	6,59	9,50	1,41
	9-juil	72,42	6,61	12,00	1,35
	3-sept	54,29	6,66	13,00	1,48
1989	24-sept	39,66	7,14	14,00	1,55
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	24,92	7,24	11,00	1,08

Plézo 4 Champ

Site A<sub>2</sub>

**PIézo 1**  
**Champ**

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	2,48	6,83	11,00	1,31
	15-jun	2,98	6,63	10,90	1,28
	05-jul	3,28	7,02	13,50	1,35
	30-jul	5,40	7,28	16,00	1,33
	25-aout	19,82	7,76	15,30	1,26
1996	21-sept	*	*	*	*
	27-oct	1,86	7,02	10,80	1,23
	02-nov	6,10	6,98	4,10	1,21
	25-nov	7,65	6,83	6,00	1,24
	19-jan	*	*	*	*
1996	27-jan	58,09	7,53	13,00	1,28
	10-jul	12,33	6,92	13,00	1,22
	21-jul	9,23	6,90	14,80	1,13
	04-sept	*	*	*	*
	26-oct	22,56	7,21	9,00	1,28
1997	14-mai	46,00	6,17	4,50	1,20
	05-jun	*	*	*	*
	10-jul	*	*	*	*
	12-aout	*	*	*	*
	15-mai	*	*	*	*
1998	25-jan	*	*	*	*
	14-jul	*	*	*	*
	6-aout	*	*	*	*
	28-aout	*	*	*	*
	17-oct	2,47	6,87	10,00	1,17
1999	4-nov	*	*	*	*
	27-nov	*	*	*	*
	17-jan	*	*	*	*
	9-jul	*	*	*	*
	3-aout	*	*	*	*
1999	24-aout	*	*	*	*
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	1,59	7,30	10,00	1,16

**PIézo 2**  
**Centre**

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	2,19	6,38	11,20	1,05
	15-jun	*	*	*	*
	30-jul	4,09	7,14	17,00	0,84
	25-aout	13,04	7,56	15,90	1,11
	21-sept	*	*	*	*
1996	27-oct	2,85	6,91	10,40	0,97
	02-nov	6,18	7,00	4,20	0,95
	25-nov	10,53	7,17	8,00	0,98
	19-jan	*	*	*	*
	27-jan	9,03	7,28	12,90	1,01
1996	10-jul	6,68	6,89	12,60	0,97
	21-jul	7,50	6,83	14,00	0,90
	04-sept	*	*	*	*
	26-oct	*	*	*	*
	14-mai	7,19	5,84	6,00	0,97
1997	05-jun	*	*	*	*
	10-jul	*	*	*	*
	12-aout	*	*	*	*
	15-mai	16,76	6,87	6,00	1,01
	25-jun	*	*	*	*
1998	14-jul	2,28	7,06	13,00	0,98
	6-aout	*	*	*	*
	28-aout	*	*	*	*
	17-oct	0,75	6,93	9,80	0,79
	4-nov	1,06	6,88	6,00	0,97
1999	27-nov	*	*	*	*
	17-jan	*	*	*	*
	9-jul	*	*	*	*
	3-aout	*	*	*	*
	24-aout	*	*	*	*
1999	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	1,67	6,68	10,00	0,95

**PIézo 3**  
**Rivière**

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	1,99	6,67	12,00	0,47
	15-jun	1,60	6,88	13,00	0,45
	05-jul	1,24	6,20	17,00	0,51
	30-jul	3,14	7,28	17,20	0,46
	25-aout	5,77	7,30	16,00	0,71
1996	21-sept	4,18	7,16	12,00	0,52
	27-oct	2,80	7,10	10,00	0,40
	02-nov	6,23	6,88	5,00	0,42
	25-nov	12,18	7,22	7,80	0,45
	19-jan	18,06	7,28	14,00	0,67
1996	27-jan	18,17	7,60	12,00	0,47
	10-jul	15,26	7,28	12,90	0,43
	21-jul	18,73	7,25	14,20	0,35
	04-sept	25,07	7,34	14,90	0,52
	26-oct	25,22	7,27	9,00	0,47
1997	14-mai	10,07	5,85	6,50	0,44
	05-jun	24,74	6,36	9,50	0,47
	10-jul	*	*	*	*
	12-aout	*	*	*	*
	15-mai	39,52	7,14	7,00	0,43
1998	25-jun	3,52	7,10	13,00	0,46
	14-jul	4,31	7,22	13,00	0,41
	6-aout	1,97	7,11	15,00	0,47
	28-aout	1,77	6,96	13,00	0,45
	17-oct	0,96	7,12	10,00	0,38
1999	4-nov	1,53	6,93	7,50	0,40
	27-nov	1,60	7,08	9,00	0,47
	17-jan	1,81	7,05	11,00	0,44
	9-jul	13,77	7,07	14,50	0,43
	3-aout	5,97	6,71	15,00	*
1999	24-aout	16,14	7,37	13,00	0,48
	14-sept	5,98	7,25	14,50	0,39
	14-oct	2,05	7,48	9,50	0,33

Site A2

**Plézo 4  
Champ**

Année	Dates	nitrates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	*	*	*	*
	15-juin	3,79	7,02	11,00	1,37
	05-jul	6,89	6,89	13,00	1,41
	30-jul	3,36	7,06	15,40	1,40
	25-aout	6,15	7,14	15,20	1,35
	21-sept	3,77	7,29	13,00	1,45
	27-oct	2,85	7,11	10,90	1,29
1996	02-mai	6,35	7,01	3,00	1,22
	25-mai	10,85	7,09	7,00	1,27
	19-jun	*	*	*	*
	27-jun	17,32	6,84	12,50	1,28
	10-jul	4,19	6,88	12,80	1,24
1997	21-jul	3,06	6,15	14,80	1,13
	04-sept	*	*	*	*
	26-oct	*	*	*	*
	14-mai	32,30	6,34	4,50	1,18
1998	05-jun	*	*	*	*
	10-jul	*	*	*	*
	12-aout	*	*	*	*
	25-jun	*	*	*	*
1999	14-jul	2,39	6,97	14,00	1,20
	6-aout	*	*	*	*
	28-aout	*	*	*	*
	17-oct	2,22	6,89	10,30	1,14
	4-mai	1,82	6,67	4,50	1,16
	27-mai	*	*	*	*
1999	17-jun	*	*	*	*
	9-jul	*	*	*	*
	3-aout	*	*	*	*
	24-aout	*	*	*	*
	14-sept	*	*	*	*
14-oct	1,61	6,65	10,50	1,22	

**Plézo 5  
Centre**

Année	Dates	nitrates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	13,45	7,30	11,50	0,95
	15-jun	5,92	7,12	11,80	0,97
	05-jul	9,74	6,80	14,00	1,13
	30-jul	4,90	7,19	16,50	1,03
	25-aout	4,41	6,93	15,80	1,05
	21-sept	2,96	7,04	12,90	1,08
	27-oct	4,04	7,01	10,50	0,98
1996	02-mai	6,43	6,89	3,90	0,88
	25-mai	8,77	7,00	7,00	0,93
	19-jun	12,24	7,12	12,00	1,03
	27-jun	11,11	7,27	12,00	0,98
	10-jul	11,31	7,14	12,60	0,91
	21-jul	8,62	6,93	14,70	0,81
	04-sept	16,65	6,95	14,80	1,05
1997	26-oct	16,97	6,96	9,00	0,99
	14-mai	11,77	6,70	5,00	0,90
	05-jun	20,76	6,47	9,00	0,97
	10-jul	15,82	6,66	13,00	1,02
	12-aout	20,13	6,90	14,50	1,06
1998	15-mai	18,37	6,90	5,00	0,89
	25-jun	1,31	6,79	11,00	0,94
	14-jul	1,18	6,84	13,00	0,97
	6-aout	1,53	6,95	15,00	0,96
	28-aout	2,49	6,75	14,00	0,95
	17-oct	94,95	6,90	10,60	0,80
1999	4-mai	1,82	6,74	5,00	0,83
	27-mai	0,98	6,69	9,00	0,90
	17-jun	*	*	*	*
	9-jul	3,69	6,80	14,00	0,89
	3-aout	3,82	6,53	15,00	0,91
24-aout	6,59	7,04	14,50	0,93	
14-sept	4,11	6,78	14,50	0,91	
14-oct	2,84	7,38	10,50	0,76	

**Plézo 6  
Rivière**

Année	Dates	nitrates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	8,04	7,32	12,00	0,43
	15-jun	2,60	6,97	14,00	0,42
	05-jul	*	*	*	*
	30-jul	3,64	7,21	18,00	0,50
	25-aout	4,04	6,98	16,00	0,33
	21-sept	3,53	7,05	12,40	0,55
	27-oct	1,16	6,41	10,00	0,43
1996	02-mai	2,33	6,02	5,00	0,36
	25-mai	3,89	6,08	8,00	0,49
	19-jun	3,36	6,04	12,10	0,33
	27-jun	1,64	5,67	13,00	0,44
	10-jul	1,24	5,11	14,00	0,39
	21-jul	0,86	4,80	14,00	0,31
	04-sept	4,16	5,74	16,00	0,50
1997	26-oct	1,04	7,25	6,10	0,45
	14-mai	8,12	5,67	6,00	0,39
	05-jun	8,23	7,02	11,00	0,44
	10-jul	1,55	6,25	13,00	0,50
	12-aout	*	*	*	*
1998	15-mai	10,34	6,30	7,50	0,39
	25-jun	*	*	*	*
	14-jul	0,61	5,76	14,00	0,33
	6-aout	*	*	*	*
	28-aout	*	*	*	*
	17-oct	1,09	6,53	10,00	0,29
1999	4-mai	*	*	*	*
	27-mai	*	*	*	*
	17-jun	*	*	*	*
	9-jul	*	*	*	*
	3-aout	*	*	*	*
24-aout	*	*	*	*	
14-sept	*	*	*	*	
14-oct	1,02	5,24	10,00	0,12	

Site A<sub>3</sub>

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	9,50	7,19	14,20	0,45
	15-juin	6,42	7,09	15,00	0,49
	05-juil	9,72	6,93	15,60	0,58
	30-juil	7,46	6,75	16,50	0,53
	25-sept	4,49	6,75	16,00	0,50
1996	21-sept	3,18	7,06	12,20	0,62
	27-oct	1,83	6,65	10,00	0,45
	02-nov	4,32	6,05	5,90	0,42
	25-mai	10,62	6,42	8,90	0,43
	19-juin	29,83	6,62	14,20	0,46
1997	27-juin	20,00	6,88	13,90	0,44
	10-juil	7,28	6,55	14,00	0,42
	21-juil	4,33	6,57	14,60	0,38
	04-sept	13,18	6,80	15,00	0,48
	26-oct	16,02	6,91	8,00	0,39
1998	14-mai	6,98	5,78	6,50	0,40
	05-juin	13,61	6,85	11,90	0,42
	10-juil	3,11	6,49	14,00	0,44
	12-sept	19,01	6,80	15,50	0,47
	15-mai	24,27	6,74	10,00	0,24
1999	25-juin	*	*	14,00	0,25
	14-juil	1,62	6,97	14,00	0,21
	6-sept	1,37	6,85	15,00	0,26
	28-sept	1,86	6,90	14,50	0,26
	17-oct	0,93	7,06	10,00	0,19
1996	4-mai	2,98	6,13	9,50	0,29
	27-mai	2,52	6,64	10,50	0,26
	17-juin	1,98	6,66	13,00	*
	9-juil	2,59	6,71	14,50	0,23
	3-sept	3,03	6,47	16,00	0,29
1997	24-sept	11,11	7,08	15,00	0,35
	14-sept	5,04	7,00	14,00	0,33
	14-oct	0,96	7,34	9,00	0,11

Piézo 2  
Rivière

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	37,10	7,30	14,00	0,89
	15-juin	7,98	6,65	14,00	0,93
	05-juil	18,14	7,04	15,00	0,98
	30-juil	13,70	7,30	16,00	0,95
	25-sept	12,51	7,29	15,60	1,03
1996	21-sept	*	*	*	*
	27-oct	4,53	7,13	10,20	1,02
	02-nov	12,50	7,35	4,90	0,89
	25-mai	17,44	7,31	8,00	0,82
	19-juin	19,28	7,29	12,00	0,90
1997	27-juin	19,72	7,09	12,00	0,88
	10-juil	15,97	7,04	13,30	0,84
	21-juil	13,54	7,10	14,50	0,98
	04-sept	21,00	7,28	14,90	0,84
	26-oct	10,19	7,32	9,00	0,90
1998	14-mai	34,24	6,76	4,50	0,53
	05-juin	33,66	6,96	8,50	0,75
	10-juil	64,18	6,84	13,00	0,88
	12-sept	124,55	7,03	14,00	0,80
	15-mai	75,95	7,36	6,50	0,73
1999	25-juin	11,90	7,03	11,50	0,87
	14-juil	19,81	7,30	13,00	0,96
	6-sept	13,98	7,17	14,00	1,05
	28-sept	173,32	7,09	14,00	1,14
	17-oct	7,97	7,22	10,10	1,10
1996	4-mai	3,26	7,01	6,00	0,72
	27-mai	2,76	6,89	9,00	1,05
	17-juin	1,20	6,98	12,00	1,06
	9-juil	17,57	6,97	13,50	1,13
	3-sept	12,52	6,86	14,50	1,19
1997	24-sept	*	*	*	*
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	17,64	7,46	6,00	1,13

Piézo 1  
Champ

Site A3

Année	Dates	nitrites (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	*	*	*	*
	15-juin	8,23	7,54	15,00	0,50
	05-jul	8,88	7,01	15,20	0,61
	30-jul	5,94	7,23	6,70	0,58
	25-août	6,11	7,44	15,90	0,67
1986	21-sept	4,75	7,38	12,30	0,68
	27-sept	3,77	7,11	10,00	0,53
	02-mai	6,00	6,95	5,60	0,46
	25-mai	7,02	7,39	9,00	0,48
	19-juin	10,82	7,42	14,00	0,52
1986	27-juin	9,74	7,81	13,00	0,48
	10-jul	5,44	7,14	14,00	0,46
	21-jul	9,82	7,20	14,70	0,41
	04-sept	11,47	7,31	15,10	0,53
	26-sept	40,80	7,56	8,10	0,43
1987	14-mai	23,87	6,68	6,00	0,43
	05-juin	34,17	7,41	11,00	0,45
	10-jul	35,00	7,24	14,00	0,50
	12-août	64,06	7,38	16,50	0,51
	15-mai	*	*	*	*
1988	25-juin	2,70	7,31	15,00	0,31
	14-jul	2,97	7,18	15,00	0,26
	6-août	*	*	*	*
	28-août	*	*	*	*
	17-sept	0,96	7,10	9,80	0,21
1989	4-mai	1,44	7,10	11,00	0,24
	27-mai	*	*	*	*
	17-juin	1,82	6,90	12,50	0,30
	9-jul	1,89	7,02	15,50	0,31
	3-août	3,87	6,88	16,00	0,28
1989	24-août	14,27	7,32	16,00	0,31
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	7,70	7,89	8,50	0,12

Piézo 4 Rivière

Année	Dates	nitrites (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	36,80	7,38	12,20	0,95
	15-juin	5,50	7,44	14,90	0,91
	05-jul	32,37	7,18	13,90	1,37
	30-jul	18,49	7,38	16,00	0,95
	25-août	7,04	7,29	15,70	1,04
	21-sept	4,33	7,30	13,00	1,10
	27-sept	13,91	7,10	10,10	1,05
	02-mai	7,26	6,95	4,00	0,80
	25-mai	13,73	7,17	7,50	0,85
	18-juin	18,40	7,29	11,60	0,89
1986	27-juin	17,57	7,04	11,90	0,84
	10-jul	18,14	6,87	12,80	0,83
	21-jul	15,64	6,96	13,90	0,75
	04-sept	22,27	7,01	14,90	0,82
	26-sept	9,28	6,98	9,00	0,83
1987	14-mai	48,89	6,42	4,50	0,81
	05-juin	99,84	7,06	7,50	0,85
	10-jul	142,87	6,98	12,90	0,88
	12-août	221,11	7,00	13,00	0,92
	15-mai	69,01	6,84	5,00	0,86
1988	25-juin	41,40	7,10	11,00	0,87
	14-jul	27,12	7,10	13,00	0,89
	6-août	28,68	6,95	14,00	0,89
	28-août	50,72	6,96	13,00	0,96
	17-sept	34,46	6,89	10,20	0,84
1989	4-mai	15,65	7,12	5,00	0,89
	27-mai	17,82	7,04	9,00	0,96
	17-juin	21,06	6,95	12,00	0,98
	9-jul	52,46	7,01	14,00	0,93
	3-août	33,97	6,72	14,50	0,95
1989	24-août	61,30	7,34	14,00	0,89
	14-sept	28,09	7,11	14,00	0,98
	14-oct	13,26	7,45	10,00	0,77

Piézo 3 Champ

Site H<sub>1</sub>

**Piézo 3 Rivière**

Année	Dates	nitrites (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	2,46	7,13	15,00	0,99
	15-juin	3,07	7,18	14,50	0,68
	05-juil	2,82	6,66	15,00	0,85
	30-juil	3,90	7,02	17,50	0,55
	25-aout	3,89	6,99	16,90	0,63
	21-sept	2,18	6,95	13,90	0,47
1996	27-oct	0,72	7,06	10,40	0,45
	02-nov	14,81	6,98	5,20	0,36
	25-nov	15,54	6,93	9,00	0,45
	18-déc	9,64	6,88	13,60	0,55
	27-juin	13,28	7,23	13,20	0,46
	10-juil	15,47	7,00	14,30	0,42
1997	21-juil	8,89	6,57	14,90	0,26
	04-sept	16,13	7,15	16,40	0,58
	26-oct	9,46	6,88	9,00	0,51
	14-nov	19,54	5,91	5,50	0,42
	05-déc	9,40	6,83	10,00	0,52
	10-juil	2,83	6,91	15,00	0,48
1998	12-aout	25,45	7,05	16,00	0,58
	15-nov	15,63	6,80	9,00	0,43
	25-juin	0,82	6,90	14,50	0,42
	14-juil	0,77	6,70	14,00	0,34
	6-aout	*	*	*	*
	28-aout	1,48	6,46	14,50	0,44
1999	17-oct	3,42	6,73	9,50	0,32
	4-nov	2,18	6,77	8,00	0,46
	27-nov	1,34	6,44	12,00	0,47
	17-déc	1,69	6,69	13,00	0,52
	9-juil	3,25	6,54	12,00	0,42
	3-aout	1,43	6,42	16,00	0,47
1999	24-aout	6,62	6,97	16,00	0,48
	14-sept	2,07	6,68	16,00	0,46
	14-oct	2,58	7,20	9,00	0,26

**Piézo 2 Centre**

Année	Dates	nitrites (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	*	*	*	*
	15-juin	*	*	*	*
	05-juil	26,46	6,90	14,00	0,88
	30-juil	11,93	7,01	16,50	1,02
	25-aout	9,52	7,28	16,50	1,09
	21-sept	18,15	6,97	14,10	0,93
1996	27-oct	4,04	6,68	11,00	0,92
	02-nov	16,48	6,95	5,10	0,82
	25-nov	28,13	6,74	6,00	0,91
	15-déc	13,32	6,89	12,00	1,01
	27-juin	46,99	7,15	13,00	0,93
	10-juil	22,05	7,01	14,20	0,88
1997	21-juil	10,24	6,40	15,80	0,70
	04-sept	20,81	7,31	16,00	1,08
	26-oct	17,06	7,11	9,00	0,88
	14-nov	33,26	6,93	5,00	0,71
	05-déc	12,03	7,04	9,00	0,97
	10-juil	25,48	6,86	15,00	0,96
1998	12-aout	*	*	*	*
	15-nov	13,42	6,84	7,00	1,08
	25-juin	3,65	6,77	12,00	1,08
	14-juil	2,30	6,64	14,00	0,96
	6-aout	*	*	*	*
	28-aout	3,38	6,58	13,50	1,08
1999	17-oct	25,69	6,50	10,00	0,96
	4-nov	1,18	6,73	6,00	1,10
	27-nov	1,09	6,66	10,00	1,12
	17-déc	3,43	6,78	12,50	1,12
	9-juil	17,19	6,85	14,50	1,04
	3-aout	3,05	6,29	16,00	1,11
1999	24-aout	12,62	7,19	16,00	1,10
	14-sept	3,08	6,75	15,00	1,13
	14-oct	26,70	6,85	8,50	0,55

**Piézo 1 Champ**

Année	Dates	nitrites (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	*	*	*	*
	15-juin	*	*	*	*
	05-juil	19,72	6,81	13,50	1,03
	30-juil	6,15	7,19	16,00	1,17
	25-aout	10,54	7,49	16,00	1,23
	21-sept	11,89	6,78	14,00	1,04
1996	27-oct	5,21	6,79	11,30	1,04
	02-nov	12,17	6,74	5,00	0,87
	25-nov	35,56	6,57	7,00	1,04
	18-déc	17,72	7,18	12,00	1,14
	27-juin	39,19	7,08	13,00	1,04
	10-juil	25,96	6,70	14,00	0,95
1997	21-juil	20,68	6,78	15,50	0,77
	04-sept	51,42	7,50	15,60	1,20
	26-oct	19,79	6,75	9,00	1,05
	14-nov	*	*	*	*
	05-déc	54,91	7,01	10,00	1,02
	10-juil	117,12	6,72	14,00	1,12
1998	12-aout	*	*	*	*
	15-nov	22,34	7,35	9,00	1,19
	25-juin	14,20	6,59	11,80	1,18
	14-juil	0,88	6,42	13,50	0,90
	6-aout	*	*	*	*
	28-aout	4,83	6,93	14,00	1,21
1999	17-oct	33,57	6,82	10,40	0,95
	4-nov	3,91	6,94	6,00	1,19
	27-nov	3,54	7,01	9,00	1,24
	17-déc	21,02	6,88	12,50	1,21
	9-juil	70,55	6,35	14,50	0,93
	3-aout	9,17	6,57	15,00	1,22
1999	24-aout	28,95	7,17	16,00	1,21
	14-sept	5,89	7,07	15,00	1,19
	14-oct	21,88	6,89	10,00	0,40

Site H<sub>1</sub>

Année	Dates	nitates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	*	*	*	*
	15-juin	*	*	*	*
	05-jul	17,91	6,94	15,50	0,64
	30-jul	5,17	6,85	17,60	0,63
	25-aout	6,01	7,02	17,00	0,66
1986	21-sept	2,46	6,91	13,80	0,57
	27-oct	0,54	7,08	10,00	0,54
	02-nov	*	*	*	*
	25-nov	8,86	6,82	9,00	0,62
	18-déc	*	*	*	*
1986	27-juin	14,07	7,22	14,10	0,51
	10-jul	9,27	7,00	15,00	0,48
	21-jul	6,55	6,56	15,00	0,33
	04-sept	*	*	*	*
	26-oct	14,41	6,78	9,00	0,58
1987	14-nov	12,29	4,79	6,00	0,45
	05-déc	*	*	*	*
	10-jul	*	*	*	*
	12-aout	*	*	*	*
	15-mai	*	*	*	*
1988	25-juin	*	*	*	*
	14-jul	4,44	6,82	15,00	0,49
	6-aout	*	*	*	*
	28-aout	*	*	*	*
	17-oct	3,62	6,80	9,50	0,50
1989	4-nov	*	*	*	*
	27-nov	*	*	*	*
	17-déc	*	*	*	*
	9-jul	*	*	*	*
	3-aout	*	*	*	*
1989	24-aout	*	*	*	*
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	9,63	7,02	7,00	0,24

Piézo 6 Rivière

Année	Dates	nitates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	5,21	6,90	13,00	1,01
	15-juin	3,76	6,83	12,50	0,88
	05-jul	4,46	6,75	13,50	1,06
	30-jul	14,20	7,13	16,20	1,04
	25-aout	14,51	7,07	16,20	1,08
1986	21-sept	10,48	7,17	14,20	0,93
	27-oct	0,68	6,87	10,90	0,94
	02-nov	5,88	6,83	4,60	0,85
	25-nov	9,07	6,82	8,00	0,94
	18-déc	10,19	7,24	12,00	1,03
1986	27-juin	10,19	7,24	13,00	0,96
	10-jul	5,45	6,75	14,00	0,91
	21-jul	5,09	6,82	14,30	0,72
	04-sept	21,77	7,01	16,00	1,07
	26-oct	11,42	6,82	9,00	1,01
1987	14-nov	17,05	5,80	5,00	0,80
	05-déc	9,49	6,44	8,00	0,98
	10-jul	2,35	6,91	14,00	0,97
	12-aout	23,92	6,78	14,00	1,04
	15-mai	14,33	6,70	6,00	0,88
1988	25-juin	4,85	6,54	12,50	0,95
	14-jul	0,80	6,48	13,00	0,87
	6-aout	*	*	*	*
	28-aout	2,23	6,47	14,00	0,88
	17-oct	1,62	6,53	9,90	0,88
1989	4-nov	1,19	7,03	5,00	1,00
	27-nov	3,99	6,61	10,00	1,01
	17-déc	3,01	6,85	12,50	1,06
	9-jul	*	*	*	*
	3-aout	2,32	6,16	15,50	1,02
1989	24-aout	5,36	6,72	15,50	0,99
	14-sept	4,24	6,50	15,00	0,89
	14-oct	10,69	6,77	6,00	0,42

Piézo 5 Centre

Année	Dates	nitates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	3,72	6,91	12,00	1,04
	15-juin	3,17	6,86	12,00	1,02
	05-jul	26,02	6,77	13,60	1,14
	30-jul	8,82	7,20	16,30	1,00
	25-aout	6,78	7,14	16,00	1,10
1986	21-sept	6,72	6,86	14,00	0,82
	27-oct	1,11	7,11	11,00	0,92
	02-nov	9,93	6,99	4,50	0,98
	25-nov	12,90	6,88	7,80	0,83
	18-déc	15,04	6,73	12,10	1,01
1986	27-juin	18,17	7,02	13,00	0,91
	10-jul	12,00	6,36	14,00	0,80
	21-jul	8,81	6,43	14,20	0,68
	04-sept	27,59	7,07	16,00	1,06
	26-oct	19,21	6,96	9,10	0,92
1987	14-nov	17,28	5,80	5,00	0,78
	05-déc	18,18	7,11	6,00	1,11
	10-jul	12,32	6,81	14,00	1,09
	12-aout	37,31	6,67	14,00	1,20
	15-mai	13,48	7,15	6,00	0,86
1988	25-juin	*	6,40	12,00	0,91
	14-jul	0,88	6,99	13,50	0,73
	6-aout	*	*	*	*
	28-aout	3,10	6,91	14,00	0,85
	17-oct	6,59	7,04	10,00	0,73
1989	4-nov	1,58	6,90	6,00	1,03
	27-nov	7,12	6,95	10,00	1,07
	17-déc	67,39	6,59	12,50	1,07
	9-jul	15,28	6,48	14,50	0,85
	3-aout	3,45	6,71	16,00	1,02
1989	24-aout	7,42	6,68	15,50	1,03
	14-sept	6,73	6,48	15,00	0,95
	14-oct	3,91	6,99	8,00	0,11

Piézo 4 Champ

Site H<sub>2</sub>

**Plézo 1  
Champ**

Année	Date	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	9,30	7,30	11,00	1,35
	15-jun	5,90	7,38	10,80	1,32
	05-jul	3,31	7,29	13,90	1,38
	30-jul	6,21	7,35	16,00	1,35
	25-aout	*	*	*	*
	21-sept	*	*	*	*
1986	27-oct	1,51	6,97	10,60	1,28
	02-nov	7,71	7,16	3,90	1,25
	25-nov	11,62	7,16	7,00	1,28
	18-jun	15,28	7,27	11,00	1,33
	27-jun	18,28	7,34	11,50	1,27
	10-jul	23,71	6,81	12,90	1,25
1987	21-jul	12,88	6,77	14,10	1,19
	04-sept	19,00	7,16	15,00	1,37
	26-oct	26,11	7,15	9,00	1,35
	14-nov	18,70	6,36	4,50	1,31
	05-jan	*	*	*	*
	10-jul	4,13	7,05	13,00	1,34
1988	12-aout	*	*	*	*
	15-mai	26,02	7,27	6,00	1,36
	25-jun	1,50	7,27	11,00	1,38
	14-jul	0,69	7,11	13,90	1,31
	6-aout	*	*	*	*
	28-aout	*	*	*	*
1989	17-oct	0,86	6,90	10,90	1,30
	4-nov	1,66	6,89	6,00	1,36
	27-nov	1,96	7,29	8,50	1,43
	17-jun	2,07	6,82	11,50	1,35
	9-jul	4,75	6,81	13,00	1,36
	3-aout	*	*	*	*
1990	24-aout	*	*	*	*
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	2,34	7,32	10,50	1,23

**Plézo 2  
Centre**

Année	Date	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	6,91	7,46	11,20	1,27
	15-jun	4,09	7,16	11,00	1,20
	05-jul	3,45	7,32	14,00	1,22
	30-jul	5,14	7,44	16,50	1,20
	25-aout	9,26	7,46	16,30	1,25
	21-sept	4,68	7,37	12,50	1,26
1986	27-oct	3,85	7,14	10,10	1,15
	02-nov	9,27	7,23	3,90	1,11
	25-nov	11,97	7,18	7,00	1,13
	19-jun	15,33	7,29	10,90	1,19
	27-jun	15,13	7,52	11,00	1,14
	10-jul	27,18	7,17	12,80	1,11
1987	21-jul	20,87	7,12	13,50	1,07
	04-sept	33,69	7,37	14,30	1,22
	26-oct	26,50	7,33	8,90	1,19
	14-nov	29,29	6,66	5,00	1,17
	05-jan	32,12	7,31	7,00	1,12
	10-jul	48,02	7,26	13,50	1,18
1988	12-aout	57,39	7,26	13,00	1,26
	15-mai	56,24	7,34	6,00	1,22
	25-jun	3,46	7,18	10,00	1,23
	14-jul	2,69	7,26	13,00	1,17
	6-aout	1,54	7,05	14,00	1,28
	28-aout	1,22	6,97	13,00	1,27
1989	17-oct	1,22	7,04	10,80	1,17
	4-nov	2,61	7,10	7,00	1,18
	27-nov	1,76	7,11	9,00	1,24
	17-jun	1,93	7,02	11,50	1,29
	9-jul	6,12	7,06	13,50	1,22
	3-aout	3,36	6,64	15,00	1,24
1990	24-aout	12,56	7,39	14,00	1,27
	14-sept	4,16	7,17	14,00	1,19
	14-oct	1,68	7,54	9,00	1,10

**Plézo 3  
Rivière**

Année	Date	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	1,95	6,66	11,90	0,39
	15-jun	1,09	6,58	12,50	0,43
	05-jul	1,33	6,81	17,00	0,42
	30-jul	1,67	6,37	17,00	0,42
	25-aout	1,44	6,27	16,90	0,44
	21-sept	0,52	4,51	12,00	0,44
1986	27-oct	2,62	3,50	9,00	0,37
	02-nov	12,60	6,06	5,00	0,35
	25-nov	6,60	5,50	8,10	0,39
	19-jun	3,51	5,66	12,60	0,39
	27-jun	8,77	6,80	12,00	0,36
	10-jul	7,49	5,69	13,00	0,36
1987	21-jul	13,36	6,49	14,00	0,33
	04-sept	15,64	6,68	14,50	0,44
	26-oct	9,10	6,95	8,00	0,40
	14-nov	11,54	4,84	6,00	0,39
	05-jan	7,21	5,59	8,00	0,24
	10-jul	0,73	5,81	13,00	0,40
1988	12-aout	*	*	*	*
	15-mai	24,09	6,76	6,50	0,44
	25-jun	1,27	6,42	12,00	0,43
	14-jul	0,52	6,44	12,50	0,41
	6-aout	0,95	6,53	14,00	0,47
	28-aout	1,05	6,34	13,00	0,45
1989	17-oct	1,15	6,78	10,00	0,40
	4-nov	6,43	6,81	8,00	0,43
	27-nov	2,33	6,25	9,00	0,44
	17-jun	0,85	6,45	12,00	0,45
	9-jul	1,46	6,35	14,00	0,42
	3-aout	1,40	6,33	14,50	0,47
1990	24-aout	4,72	6,63	14,50	0,49
	14-sept	2,08	6,49	15,00	0,45
	14-oct	14,03	7,18	9,50	0,35

Site H<sub>1</sub>

Année	Dates	nitrites (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	7,81	7,22	12,10	0,33
	15-juin	4,75	6,93	13,00	0,35
	05-juil	5,10	7,05	17,00	0,37
	30-juil	4,75	7,30	16,80	0,33
	25-août	7,24	7,34	15,50	0,39
1986	21-sept	4,11	7,30	12,00	0,38
	27-oct	3,80	4,76	9,00	0,24
	02-nov	4,42	6,62	5,20	0,17
	25-nov	37,20	6,85	6,10	0,20
	18-déc	13,38	6,99	13,00	0,28
1986	27-juin	10,84	7,28	12,00	0,15
	10-juil	14,88	7,10	13,00	0,19
	21-juil	19,85	7,04	13,80	0,11
	04-sept	36,90	7,32	14,10	0,32
	26-oct	26,82	7,04	8,00	0,27
1987	14-mai	42,65	5,99	5,00	0,14
	05-juin	59,24	6,89	9,00	0,44
	10-juil	9,23	6,56	14,00	0,29
	12-août	*	*	*	*
	15-mai	71,46	7,00	7,00	0,56
1988	25-juin	4,55	7,04	13,00	0,50
	14-juil	2,00	7,05	14,00	0,42
	6-août	1,05	7,00	14,00	0,54
	28-août	1,01	6,90	13,00	0,51
	17-oct	4,31	6,91	9,30	0,39
1989	4-mai	*	*	*	*
	27-mai	3,39	6,79	10,00	0,46
	17-juin	4,40	6,91	12,50	0,46
	9-juil	11,46	6,94	15,00	0,49
	3-août	3,33	6,96	15,00	0,49
1989	24-août	23,64	7,16	14,50	0,52
	14-sept	14,55	6,97	14,00	0,46
	14-oct	28,36	7,60	9,00	0,34

Piézo 6 Rivière

Année	Dates	nitrites (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	6,85	7,73	11,50	1,00
	05-juil	6,29	7,05	14,10	1,05
	30-juil	3,83	7,04	16,00	0,89
	25-août	4,62	7,05	15,10	1,03
	21-sept	3,69	7,11	12,90	1,06
1986	27-oct	2,78	7,19	10,20	0,80
	02-nov	12,73	6,84	3,90	0,82
	25-nov	17,51	7,00	7,20	0,87
	18-déc	15,19	6,71	11,00	0,94
	27-juin	12,64	7,36	11,00	0,86
1986	10-juil	7,59	7,01	12,90	0,83
	21-juil	14,03	7,03	13,90	0,74
	04-sept	34,94	7,14	14,10	0,88
	26-oct	24,00	7,04	8,00	0,83
	14-mai	52,60	6,38	4,00	0,89
1987	05-juin	38,58	7,02	8,00	1,04
	10-juil	4,00	7,08	13,50	0,95
	12-août	28,94	7,18	13,00	1,03
	15-mai	46,84	7,19	5,00	0,91
	25-juin	2,45	6,96	11,50	0,93
1988	14-juil	2,52	7,17	13,00	0,85
	6-août	2,18	7,10	13,00	0,89
	28-août	3,00	6,99	12,00	0,96
	17-oct	1,40	7,03	10,00	0,81
	4-mai	6,28	7,05	5,00	0,88
1989	27-mai	3,55	6,83	8,00	0,95
	17-juin	2,36	6,92	11,00	0,90
	9-juil	12,45	7,01	14,00	0,89
	3-août	5,71	6,89	15,00	0,97
	24-août	17,93	7,41	15,00	0,96
1989	14-sept	5,07	7,11	14,00	0,84
	14-oct	3,77	7,51	9,00	0,74

Piézo 5 Centre

Année	Dates	nitrites (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	*	*	*	*
	05-juil	7,17	7,07	14,00	1,42
	30-juil	5,01	7,10	15,70	1,49
	25-août	14,59	7,50	15,00	1,46
	21-sept	6,20	7,40	14,80	1,44
1986	27-oct	4,96	7,04	10,70	1,30
	02-nov	5,53	6,85	3,20	1,26
	25-nov	9,97	7,07	6,70	1,31
	18-déc	11,85	6,97	10,90	1,39
	27-juin	37,28	7,40	11,20	1,31
1986	10-juil	9,22	6,85	12,80	1,27
	21-juil	12,71	6,80	14,00	1,18
	04-sept	27,46	7,16	14,30	1,29
	26-oct	*	*	*	*
	14-mai	57,89	6,25	4,00	1,27
1987	05-juin	*	*	*	*
	10-juil	*	*	*	*
	12-août	*	*	*	*
	15-mai	*	*	*	*
	25-juin	*	*	*	*
1988	14-juil	1,26	7,12	13,00	1,27
	6-août	*	*	*	*
	28-août	*	*	*	*
	17-oct	5,26	7,00	10,30	1,23
	4-mai	*	*	*	*
1989	27-mai	*	*	*	*
	17-juin	*	*	*	*
	9-juil	*	*	*	*
	3-août	*	*	*	*
	24-août	*	*	*	*
1989	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	7,80	7,54	11,00	1,29

Piézo 4 Champ

Site H<sub>3</sub>

**Piézo 3 Rivière**

Année	Dates	nitates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	11,75	7,25	12,50	0,77
	15-juin	4,99	7,36	13,00	0,65
	05-juil	6,01	7,44	15,20	0,68
	30-juil	6,91	7,49	16,00	0,61
	25-aout	10,79	7,49	15,20	0,62
1986	21-sept	6,23	7,51	12,50	0,57
	27-oct	1,54	7,44	9,86	0,52
	02-nov	11,90	7,44	4,00	0,58
	25-nov	17,74	7,41	8,00	0,80
	19-déc	43,96	7,35	12,00	0,64
1986	27-juin	19,82	7,61	12,00	0,59
	10-juil	20,13	7,44	13,60	0,53
	21-juil	13,66	7,36	13,60	0,42
	04-sept	28,73	7,42	14,80	0,60
	26-oct	27,57	7,47	8,00	0,58
1987	14-nov	11,77	5,90	5,00	0,55
	05-déc	47,40	7,39	10,00	0,59
	10-juil	6,22	7,22	14,00	0,59
	12-aout	57,84	7,28	14,00	0,72
	15-mai	40,22	6,96	8,00	0,46
1988	25-juin	3,85	7,16	13,00	0,46
	14-juil	3,81	7,28	14,00	0,33
	6-aout	2,84	7,10	15,00	0,50
	28-aout	4,08	7,02	15,00	0,46
	17-oct	1,29	7,14	9,70	0,38
1989	4-nov	7,16	6,96	7,00	0,41
	27-nov	2,44	7,14	10,00	0,44
	17-déc	2,09	7,19	13,50	0,42
	9-juil	17,99	7,19	15,00	0,31
	3-aout	5,64	7,24	15,00	0,38
1989	24-aout	13,84	7,30	14,50	0,37
	14-sept	4,09	7,14	15,00	0,35
	14-oct	2,01	7,91	9,00	0,25

**Piézo 2 Centre**

Année	Dates	nitates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	59,24	7,22	12,00	1,14
	15-juin	52,98	7,36	12,56	0,81
	05-juil	27,14	7,33	14,50	0,86
	30-juil	14,46	7,46	15,40	0,92
	25-aout	12,28	7,49	15,00	0,91
1986	21-sept	5,56	7,46	13,00	0,85
	27-oct	1,04	7,44	10,06	0,84
	02-nov	25,07	7,33	3,50	0,88
	25-nov	33,92	7,34	7,00	0,90
	19-déc	21,68	7,41	11,20	0,95
1986	27-juin	35,52	7,61	12,00	0,91
	10-juil	31,70	7,24	13,50	0,85
	21-juil	29,80	7,19	14,00	0,74
	04-sept	54,31	7,34	14,80	0,82
	26-oct	32,78	7,46	8,10	0,90
1987	14-nov	20,22	6,28	5,00	0,92
	05-déc	84,16	7,41	9,00	0,91
	10-juil	11,74	7,27	14,50	0,89
	12-aout	112,11	7,50	15,00	1,05
	15-mai	34,63	6,79	6,50	0,87
1988	25-juin	9,04	6,91	11,50	0,85
	14-juil	5,44	7,20	14,00	0,76
	6-aout	2,76	7,05	15,00	0,90
	28-aout	1,59	6,93	14,00	0,85
	17-oct	0,99	7,07	9,90	0,77
1989	4-nov	0,82	6,74	5,50	0,82
	27-nov	1,17	6,99	8,00	0,85
	17-déc	2,06	7,04	12,50	0,85
	9-juil	10,51	7,07	14,00	0,83
	3-aout	3,87	6,79	15,00	0,80
1989	24-aout	11,56	7,25	14,50	0,81
	14-sept	3,17	7,18	14,00	0,80
	14-oct	0,85	7,63	9,00	0,54

**Piézo 1 Champ**

Année	Dates	nitates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	54,22	7,20	11,50	1,19
	15-juin	36,74	7,30	12,00	1,19
	05-juil	34,05	7,31	14,00	1,23
	30-juil	30,12	7,38	14,80	1,28
	25-aout	27,14	7,38	14,20	1,22
1986	21-sept	15,60	7,35	13,20	1,15
	27-oct	4,43	7,37	10,90	1,12
	02-nov	46,96	7,32	2,90	1,19
	25-nov	50,70	7,42	7,10	1,20
	19-déc	59,89	7,35	11,50	1,24
1986	27-juin	39,89	7,59	12,00	1,19
	10-juil	54,89	7,34	13,90	1,16
	21-juil	41,05	7,26	13,90	1,05
	04-sept	66,33	7,27	15,00	1,23
	26-oct	51,69	7,47	9,00	1,21
1987	14-nov	50,84	6,27	5,00	1,13
	05-déc	123,02	7,60	8,00	1,23
	10-juil	16,92	7,28	13,50	1,22
	12-aout	86,18	7,28	13,00	1,38
	15-mai	65,21	7,14	6,00	1,24
1988	25-juin	49,80	7,18	10,50	1,23
	14-juil	35,67	7,19	14,00	1,15
	6-aout	30,97	7,14	14,00	1,25
	28-aout	55,08	6,89	14,50	1,22
	17-oct	20,22	7,20	10,20	1,18
1989	4-nov	2,74	7,03	6,00	1,21
	27-nov	2,09	7,19	7,50	1,21
	17-déc	2,52	7,07	11,50	1,24
	9-juil	14,89	7,11	13,50	1,31
	3-aout	6,67	6,78	15,00	1,15
1989	24-aout	14,91	7,28	16,00	1,17
	14-sept	4,47	7,27	15,00	1,16
	14-oct	0,97	7,89	7,50	0,88

Site H<sub>3</sub>

**Piézo 5 Centre**

Année	Dates	nitrates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	4.19	7.35	10.10	0.75
	15-juin	3.80	7.27	13.40	0.71
	05-jul	5.84	7.27	15.20	0.80
	30-juil	5.91	7.25	15.00	0.77
	25-aout	7.34	7.38	15.10	0.74
	21-sept	4.55	7.09	13.00	0.69
	27-oct	0.88	7.01	10.00	0.84
	02-nov	12.17	6.73	4.00	0.66
	25-nov	7.52	6.71	7.50	0.69
	19-déc	17.31	7.34	12.10	0.78
1996	27-juin	7.30	7.17	12.70	0.70
	10-juil	5.11	6.84	14.00	0.65
	21-juil	4.06	6.91	14.10	0.51
	04-sept	5.85	7.37	15.40	0.68
	26-oct	11.77	7.06	6.10	0.66
1997	14-mai	6.91	5.73	4.50	0.70
	05-juin	31.87	7.18	9.00	0.72
	10-juil	4.84	7.17	13.50	0.71
	12-aout	*	*	*	*
	15-mai	27.18	7.12	6.50	0.67
1998	25-juin	3.06	7.24	12.00	0.65
	14-juil	1.08	7.08	13.00	0.86
	6-aout	1.17	7.11	14.00	0.69
	28-aout	1.33	7.03	13.00	0.64
	17-oct	0.70	6.92	9.00	0.62
1999	4-mai	2.22	6.93	6.00	0.66
	27-mai	0.75	6.90	9.00	0.65
	17-juin	1.25	6.89	12.00	0.66
	9-juil	6.04	6.83	14.50	0.64
	3-aout	2.73	6.70	15.00	0.63
1999	24-aout	12.56	7.08	14.00	0.62
	14-sept	3.27	6.85	14.00	0.59
	14-oct	0.91	7.30	9.00	0.36

**Piézo 6 Rivière**

Année	Dates	nitrates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	3.01	7.32	10.40	0.58
	15-juin	*	*	*	*
	05-jul	*	*	*	*
	30-juil	6.30	7.53	17.00	0.82
	25-aout	11.89	7.80	15.40	0.86
	21-sept	5.00	7.25	12.20	0.77
	27-oct	7.07	7.12	9.60	0.76
	02-nov	13.19	7.16	2.30	0.72
	25-nov	*	*	*	*
	19-déc	*	*	*	*
1996	27-juin	14.63	7.41	14.20	0.79
	10-juil	14.32	6.93	14.20	0.73
	21-juil	19.24	7.23	14.20	0.62
	04-sept	24.39	7.25	15.80	0.78
	26-oct	19.89	7.24	7.90	0.73
1997	14-mai	35.09	6.34	5.00	0.80
	05-juin	*	*	*	*
	10-juil	46.72	7.22	15.00	0.79
	12-aout	*	*	*	*
	15-mai	36.86	7.39	8.00	0.86
1998	25-juin	1.97	7.31	14.00	0.65
	14-juil	2.63	7.12	15.00	0.56
	6-aout	*	*	*	*
	28-aout	1.61	7.01	14.00	0.66
	17-oct	0.91	7.10	9.20	0.60
1999	4-mai	1.95	6.99	7.00	0.64
	27-mai	1.46	7.15	9.50	0.77
	17-juin	2.49	7.03	13.00	0.68
	9-juil	2.92	7.10	14.50	0.67
	3-aout	3.35	6.71	15.00	0.61
1999	24-aout	10.36	7.17	14.50	0.63
	14-sept	3.82	7.10	14.00	0.60
	14-oct	2.20	7.37	9.00	0.40

Site R<sub>1</sub>

Année	Dates	nitates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	*	*	*	*
	15-juin	*	*	*	*
	05-juil	9,03	7,46	16,00	0,74
	30-juil	15,63	7,63	16,00	0,73
	25-sept	16,41	7,66	15,50	0,74
1986	21-sept	8,46	7,32	13,10	0,71
	27-oct	10,63	7,10	10,20	0,84
	02-mai	9,07	7,34	5,60	0,47
	25-mai	13,55	7,34	8,00	0,65
	18-juin	*	*	*	*
1986	27-juin	17,99	7,58	19,40	0,73
	10-juil	12,28	7,05	14,50	0,59
	21-juil	13,30	6,95	14,20	0,17
	04-sept	*	*	*	*
	28-oct	22,84	7,14	7,90	0,75
1987	14-mai	19,45	6,81	3,00	0,34
	05-juin	*	*	*	*
	10-juil	*	*	*	*
	21-juil	*	*	*	*
	12-sept	*	*	*	*
1988	15-mai	39,70	7,22	9,00	0,53
	25-juin	*	*	*	*
	14-juil	1,43	7,22	15,00	0,37
	6-sept	*	*	*	*
	28-sept	*	*	*	*
1989	4-mai	0,97	7,12	9,00	0,35
	27-mai	*	*	*	*
	17-juin	*	*	*	*
	9-juil	*	*	*	*
	3-sept	*	*	*	*
1989	24-sept	*	*	*	*
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	*	*	*	*

Piézo 3 Rivière

Année	Dates	nitates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	*	*	*	*
	15-juin	*	*	*	*
	05-juil	2,04	6,57	10,80	1,54
	30-juil	4,44	6,97	14,30	1,50
	25-sept	10,34	7,26	14,10	1,96
1986	21-sept	8,91	7,32	13,70	1,52
	27-oct	2,45	7,14	11,70	1,41
	02-mai	13,98	6,83	3,00	1,15
	25-mai	16,78	7,01	5,00	1,31
	18-juin	16,63	7,12	6,20	1,51
1986	27-juin	15,13	7,42	12,60	1,38
	10-juil	36,98	7,33	11,00	1,13
	21-juil	14,10	7,25	14,00	0,67
	04-sept	21,48	7,19	14,20	1,56
	28-oct	21,85	7,30	10,00	1,43
1987	14-mai	25,81	6,81	4,00	1,37
	05-juin	24,98	7,12	7,50	1,80
	10-juil	20,22	6,81	10,00	1,43
	12-sept	46,94	7,29	13,00	1,74
	15-mai	250,43	7,07	4,50	1,64
1988	25-juin	*	*	*	*
	14-juil	4,19	7,09	11,50	1,47
	6-sept	*	*	*	*
	28-sept	*	*	*	*
	17-oct	2,19	7,15	10,70	1,44
1989	4-mai	2,76	7,01	4,50	1,59
	27-mai	1,63	6,86	6,00	1,72
	17-juin	1,36	6,86	6,50	1,79
	9-juil	6,04	6,85	11,00	1,65
	3-sept	2,50	6,96	12,00	1,70
1989	24-sept	12,67	7,31	13,00	1,74
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	3,79	7,57	11,00	0,85

Piézo 2 Centre

Année	Dates	nitates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1985	31-mai	2,81	6,79	10,00	1,41
	15-juin	2,44	6,77	12,50	1,40
	05-juil	2,46	6,75	11,50	1,67
	30-juil	23,03	6,74	14,00	1,51
	25-sept	2,85	6,66	14,00	1,60
1986	21-sept	4,65	7,19	14,00	1,56
	27-oct	1,22	7,41	11,80	1,34
	02-mai	10,03	6,99	3,90	1,11
	25-mai	32,25	6,82	6,00	1,30
	18-juin	*	*	*	*
1986	27-juin	29,15	7,16	10,60	1,38
	10-juil	15,90	7,34	12,10	1,13
	21-juil	12,99	7,00	16,00	0,90
	04-sept	21,87	7,22	14,60	1,65
	28-oct	9,84	7,24	9,60	1,45
1987	14-mai	9,54	5,88	9,50	1,35
	05-juin	18,18	6,82	7,50	1,54
	10-juil	2,19	6,78	10,00	1,41
	12-sept	*	*	*	*
	15-mai	41,10	7,02	4,00	1,43
1988	25-juin	1,16	7,06	10,00	1,65
	14-juil	4,00	6,99	12,00	1,61
	6-sept	1,01	7,01	13,00	1,51
	28-sept	0,80	6,70	13,00	1,51
	17-oct	2,51	7,08	10,60	1,56
1989	4-mai	2,19	6,82	4,50	1,45
	27-mai	2,28	6,75	7,00	1,62
	17-juin	1,76	6,86	9,00	1,60
	9-juil	6,77	6,84	11,00	1,50
	3-sept	4,78	6,78	12,00	1,58
1989	24-sept	*	*	*	*
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	6,39	7,27	11,00	0,50

Piézo 1 Champ

Site R<sub>1</sub>

**Plazzo 5**  
**Centre**

Années	Dates	nitrites (mg/L)	pH	Temperature °C	profondeur (m)
1985	31-mai	8,97	7,20	10,50	1,38
	15-juin	3,80	7,31	11,00	1,36
	05-juil	4,73	7,05	13,50	1,41
	30-juil	45,25	7,37	15,30	1,35
	25-août	11,25	7,89	14,70	1,45
1986	21-sept	4,67	7,33	13,80	1,43
	27-sept	15,58	7,31	11,80	1,26
	02-oct	20,80	7,22	4,00	1,01
	25-mai	44,65	7,32	8,80	1,17
	18-juin	20,21	7,38	10,00	1,41
1986	27-juin	43,50	7,60	11,00	1,23
	10-juil	41,05	7,09	13,00	0,98
	21-juil	55,77	7,44	13,70	0,82
	04-sept	46,53	7,34	14,00	1,47
	26-sept	56,23	7,47	9,00	1,30
1987	14-mai	32,77	6,62	4,00	1,20
	05-juin	27,08	7,30	7,50	1,44
	10-juil	15,44	7,24	13,00	1,38
	12-août	*	*	*	*
	15-mai	24,59	7,35	5,00	1,55
1988	25-juin	*	*	*	*
	14-juil	17,53	7,21	13,00	0,53
	6-août	*	*	*	*
	28-août	*	*	*	*
	17-oct	43,16	7,19	9,10	1,30
1989	4-mai	5,58	6,98	5,00	1,42
	27-mai	3,84	7,18	7,00	1,62
	17-juin	3,22	7,48	9,50	1,62
	9-juil	11,31	7,18	11,50	1,62
	3-août	15,80	7,10	14,00	1,58
1989	24-août	*	*	*	*
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	9,51	7,75	10,00	0,64

**Plazzo 6**  
**Rivière**

Années	Dates	nitrites (mg/L)	pH	Temperature °C	profondeur (m)
1985	31-mai	9,91	7,50	11,00	0,86
	15-juin	12,34	7,39	12,10	0,96
	05-juil	10,79	6,94	14,00	0,96
	30-juil	13,58	7,35	16,00	0,95
	25-août	7,85	7,34	15,20	0,95
1986	21-sept	8,83	7,42	13,20	0,84
	27-sept	16,09	7,38	10,80	0,84
	02-oct	18,48	7,34	4,90	0,52
	25-mai	30,12	7,43	8,00	0,60
	18-juin	*	*	*	*
1986	27-juin	63,08	7,62	12,00	0,76
	10-juil	36,15	7,12	13,90	0,62
	21-juil	20,87	7,41	14,00	0,21
	04-sept	33,08	7,31	14,70	0,84
	26-sept	45,45	7,40	9,00	0,79
1987	14-mai	40,03	7,06	7,00	0,61
	05-juin	27,47	7,47	6,50	0,79
	10-juil	7,72	7,30	13,00	0,52
	12-août	*	*	*	*
	15-mai	91,19	7,27	6,00	0,85
1988	25-juin	*	*	*	*
	14-juil	7,41	7,17	15,00	0,83
	6-août	*	*	*	*
	28-août	*	*	*	*
	17-oct	18,15	7,18	9,00	0,82
1989	4-mai	5,62	7,19	6,00	0,99
	27-mai	*	*	*	*
	17-juin	*	*	*	*
	9-juil	45,83	7,38	13,50	0,88
	3-août	*	*	*	*
1989	24-août	*	*	*	*
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	15,63	7,70	9,00	0,18

Site R<sub>2</sub>

**Piézo 1  
Champ**

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	12,06	6,85	10,00	1,45
	15-juin	4,89	6,91	10,00	1,30
	05-juil	1,88	6,21	10,50	1,35
	30-juil	2,89	6,75	13,90	1,36
	25-sept	3,38	6,81	14,00	1,41
	21-sept	2,49	6,86	13,00	1,30
	27-sept	0,56	7,04	11,00	1,21
	02-mai	8,99	6,76	4,00	1,18
	25-mai	5,12	6,31	5,00	1,18
	19-juin	2,87	5,77	9,30	1,28
1996	27-juin	6,83	5,65	11,00	1,22
	10-juil	6,42	7,14	11,80	1,13
	21-juil	5,40	7,24	13,00	0,83
	04-sept	8,53	7,35	14,00	1,30
	26-sept	4,86	6,86	9,70	1,24
	14-mai	9,73	6,01	4,50	1,41
	05-juin	9,35	6,87	7,00	1,28
	10-juil	2,45	6,64	12,00	1,24
	12-sept	41,26	7,17	13,00	1,35
	15-mai	50,66	6,51	5,00	1,24
1997	25-juin	3,28	6,24	11,00	1,28
	14-juil	1,66	6,56	13,00	1,13
	6-sept	2,26	6,39	14,00	1,27
	28-sept	2,52	6,57	14,00	1,28
	17-sept	2,13	6,64	10,50	1,14
	4-mai	1,94	6,19	4,00	1,29
	27-mai	2,88	6,08	8,00	1,32
	17-juin	1,99	6,04	11,00	1,34
	9-juil	2,02	6,12	13,00	1,31
	3-sept	1,77	5,38	14,00	1,32
1999	24-sept	22,53	6,78	14,50	1,33
	14-sept	1,60	6,04	15,00	1,30
	14-oct	1,55	6,51	10,00	1,08

**Piézo 2  
Centre**

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	4,45	6,73	11,00	1,03
	05-juil	2,83	6,63	12,50	1,02
	30-juil	4,87	6,77	14,50	0,99
	25-sept	4,37	6,90	14,90	1,04
	21-sept	3,04	6,83	13,10	0,87
	27-sept	0,65	6,97	10,80	0,91
	02-mai	8,59	6,48	4,10	0,87
	25-mai	8,29	6,77	5,30	0,92
	19-juin	7,28	6,86	10,00	0,89
	27-juin	8,24	7,06	11,00	0,80
1996	10-juil	4,83	6,87	12,00	0,85
	21-juil	4,42	6,68	13,00	0,88
	04-sept	20,62	6,90	14,10	0,88
	26-sept	9,61	6,68	9,50	0,96
	14-mai	7,70	6,00	4,50	1,38
	05-juin	5,50	6,75	8,00	1,00
	10-juil	2,64	6,68	12,00	0,88
	12-sept	7,88	6,47	13,50	1,06
	15-mai	26,83	6,73	7,00	0,83
	25-juin	2,82	6,51	11,50	0,84
1997	14-juil	0,90	6,62	14,00	0,85
	6-sept	0,90	6,37	16,00	0,85
	28-sept	0,93	6,33	14,00	0,84
	17-sept	0,71	6,67	10,00	0,82
	4-mai	2,21	6,50	4,50	0,82
	27-mai	3,12	6,37	8,00	0,97
	9-juil	1,11	6,54	12,00	0,87
	3-sept	1,28	6,38	13,00	0,95
	24-sept	23,03	6,76	16,00	0,88
	14-sept	0,86	6,28	16,00	1,00
14-oct	1,39	7,16	8,00	0,69	

**Piézo 3  
Rivière**

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	3,94	6,62	12,00	0,44
	15-juin	11,24	6,34	14,50	0,50
	30-juil	8,40	6,96	16,50	0,52
	25-sept	12,54	7,08	16,00	0,51
	21-sept	10,08	7,17	13,50	0,43
	27-sept	13,29	6,52	10,40	0,41
	02-mai	8,22	6,85	4,20	0,19
	25-mai	11,14	6,90	7,00	0,24
	19-juin	11,41	6,68	11,90	0,30
	27-juin	11,16	7,28	12,00	0,26
1996	10-juil	10,86	6,56	13,00	0,21
	21-juil	8,24	6,33	13,20	0,08
	04-sept	20,24	6,74	15,00	0,31
	26-sept	25,47	7,04	9,00	0,30
	14-mai	15,81	5,90	7,00	0,27
	05-juin	7,59	6,78	8,00	0,32
	10-juil	7,08	6,47	13,00	0,35
	12-sept	12,60	6,86	15,00	0,41
	15-mai	81,78	6,76	9,00	0,41
	25-juin	2,20	6,79	14,50	0,33
1997	14-juil	1,79	6,61	14,50	0,32
	6-sept	0,88	6,66	18,00	0,42
	28-sept	0,64	6,67	16,50	0,42
	17-sept	1,88	6,75	9,00	0,32
	4-mai	0,69	6,86	9,00	0,39
	27-mai	6,82	7,19	10,00	0,44
	17-juin	5,91	6,97	12,50	0,48
	9-juil	20,20	7,06	14,00	0,46
	3-sept	7,75	6,42	16,50	0,46
	24-sept	18,48	7,19	16,00	0,46
1999	14-sept	10,72	7,02	16,00	0,46
	14-oct	4,46	7,30	8,00	0,13

Site R<sub>2</sub>

Année	Dates	nitrites (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	7,21	6,77	13,00	0,58
	15-juin	4,53	6,90	14,00	0,48
	05-jul	12,32	6,86	15,00	0,61
	30-jul	7,73	6,59	17,00	0,59
	25-sept	14,81	6,58	16,50	0,61
1996	21-sept	8,50	6,74	13,80	0,55
	27-oct	10,82	6,53	10,20	0,50
	02-mai	6,58	6,77	4,70	0,37
	25-mai	6,63	6,67	7,00	0,43
	19-jun	5,63	6,50	13,20	0,50
1996	27-jun	7,06	6,82	13,00	0,45
	10-jul	5,78	6,12	14,00	0,41
	21-jul	5,90	6,26	14,00	0,21
	04-sept	14,79	6,56	15,20	0,51
	28-oct	13,89	6,32	8,90	0,49
1997	14-mai	6,52	6,23	6,00	0,49
	05-jun	11,42	6,56	11,00	0,55
	10-jul	1,49	6,51	14,50	0,52
	12-sept	13,73	6,61	16,00	0,58
	15-mai	*	*	*	*
1998	25-jun	*	*	*	*
	14-jul	0,46	6,67	14,50	0,40
	6-sept	*	*	*	*
	28-sept	*	*	*	*
	17-oct	*	*	*	*
1999	4-mai	*	*	*	*
	27-mai	*	*	*	*
	17-jun	*	*	*	*
	9-jul	*	*	*	*
	3-sept	*	*	*	*
1999	24-sept	*	*	*	*
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	4,08	6,95	7,00	0,20
	14-oct	*	*	*	*
	14-oct	*	*	*	*

Plézo 6 Rivière

Année	Dates	nitrites (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	1,84	7,02	11,00	0,87
	15-jun	2,12	6,91	11,00	0,94
	05-jul	10,64	6,43	13,50	0,90
	30-jul	3,16	7,01	15,00	1,03
	25-sept	2,88	6,89	15,10	1,06
1996	21-sept	3,75	7,09	13,20	0,88
	27-oct	1,12	6,67	10,90	0,92
	02-mai	5,45	6,38	3,80	0,86
	25-mai	7,36	6,43	6,00	0,83
	19-jun	10,36	6,85	10,20	1,00
1996	27-jun	14,84	7,14	11,00	0,95
	10-jul	9,09	6,40	12,00	0,89
	21-jul	6,62	6,90	13,20	0,69
	04-sept	21,19	6,84	15,00	1,02
	26-oct	14,56	6,95	9,10	0,99
1997	14-mai	10,86	5,52	5,00	0,89
	05-jun	10,73	6,78	8,00	1,02
	10-jul	8,63	6,82	13,00	0,99
	12-sept	10,41	6,88	14,00	1,07
	15-mai	58,49	6,99	6,00	0,96
1998	25-jun	11,50	6,77	12,00	0,89
	14-jul	1,43	6,65	13,50	0,86
	6-sept	1,82	6,76	14,00	0,88
	28-sept	3,37	6,58	13,00	0,98
	17-oct	1,43	6,90	10,20	0,84
1999	4-mai	3,16	6,41	4,00	0,97
	27-mai	3,45	6,38	8,00	0,98
	17-jun	2,78	6,44	11,00	0,88
	9-jul	6,25	6,45	13,00	0,97
	3-sept	3,82	6,29	15,00	1,00
1999	24-sept	4,52	6,67	14,50	0,98
	14-sept	2,55	6,38	14,50	1,00
	14-oct	1,70	7,08	9,00	0,55
	14-oct	*	*	*	*
	14-oct	*	*	*	*

Plézo 5 Centre

Année	Dates	nitrites (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	*	*	*	*
	15-jun	*	*	*	*
	05-jul	1,74	4,86	11,50	1,28
	30-jul	0,82	5,05	14,20	1,28
	25-sept	1,43	5,97	14,80	1,33
1996	21-sept	1,34	5,23	13,10	1,22
	27-oct	1,79	4,97	11,00	1,12
	02-mai	19,70	6,61	3,90	1,09
	25-mai	19,57	6,63	5,00	1,18
	19-jun	7,28	6,85	9,00	1,29
1996	27-jun	14,00	6,86	11,00	1,20
	10-jul	8,08	6,86	12,00	1,11
	21-jul	6,73	6,67	13,90	0,95
	04-sept	*	*	*	*
	26-oct	*	*	*	*
1997	14-mai	8,45	5,51	4,50	1,07
	05-jun	*	*	*	*
	10-jul	*	*	*	*
	12-sept	*	*	*	*
	15-mai	*	*	*	*
1998	25-jun	*	*	*	*
	14-jul	1,85	6,35	13,00	0,82
	6-sept	*	*	*	*
	28-sept	*	*	*	*
	17-oct	*	*	*	*
1999	4-mai	*	*	*	*
	27-mai	*	*	*	*
	17-jun	*	*	*	*
	9-jul	*	*	*	*
	3-sept	*	*	*	*
1999	24-sept	*	*	*	*
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	4,50	6,90	7,00	0,36
	14-oct	*	*	*	*
	14-oct	*	*	*	*

Plézo 4 Champ

Site R<sub>3</sub>

**Piézo 1**  
**Champ**

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	79,22	7,21	12,00	1,14
	15-juin	68,39	7,12	12,00	1,22
	05-juil	*	*	*	*
	30-juil	*	*	*	*
	25-aout	*	*	*	*
1996	21-sept	5,53	7,05	13,00	1,30
	27-sept	6,98	6,99	10,30	1,08
	02-oct	27,28	6,72	3,00	1,04
	25-mai	28,96	6,77	6,20	1,08
	18-juin	29,25	6,97	10,00	1,19
1996	27-juin	23,82	7,18	11,20	1,10
	10-juil	11,57	6,88	12,90	1,07
	21-juil	8,47	7,10	13,40	0,96
	04-sept	10,81	7,18	13,50	1,26
	28-sept	4,50	7,03	9,50	1,10
1997	14-mai	23,18	6,24	3,50	0,98
	05-juin	21,08	7,08	6,50	1,05
	10-juil	*	*	*	*
	12-aout	24,85	6,84	13,00	1,20
	15-mai	50,00	6,79	4,50	1,15
1998	25-juin	19,40	6,68	10,00	1,17
	14-juil	13,26	6,87	13,00	1,03
	6-aout	12,83	6,90	13,50	1,20
	28-aout	6,37	6,78	12,50	1,19
	17-sept	2,51	6,69	10,00	0,88
1999	4-mai	8,48	6,20	5,00	1,08
	27-mai	2,01	6,64	6,00	1,17
	17-juin	*	*	*	*
	9-juil	227,83	7,38	14,00	1,07
	3-aout	*	*	*	*
1999	24-aout	*	*	*	*
	14-sept	*	*	*	*
	14-oct	684,53	8,04	10,00	0,89

**Piézo 2**  
**Centre**

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	5,19	7,44	12,10	0,83
	15-juin	3,36	7,07	13,00	0,83
	05-juil	3,92	7,21	15,50	1,08
	30-juil	7,83	7,30	18,00	0,84
	25-aout	7,91	7,30	15,10	0,89
1996	21-sept	4,31	7,30	13,00	1,02
	27-sept	3,95	6,98	10,00	0,79
	02-oct	14,23	7,09	4,10	0,89
	18-juin	18,82	7,15	12,00	0,81
	27-juin	25,71	7,31	12,00	0,72
1996	10-juil	15,61	7,15	13,50	0,89
	21-juil	15,57	6,84	14,80	0,80
	04-sept	24,06	7,11	14,00	0,87
	28-sept	19,30	7,10	9,00	0,76
	14-mai	18,07	6,33	4,00	0,87
1997	05-juin	18,89	6,89	8,00	0,74
	10-juil	3,88	6,86	13,50	0,75
	12-aout	28,24	6,89	13,50	0,87
	15-mai	69,01	6,89	5,50	0,75
	25-juin	5,50	6,85	11,00	0,75
1998	14-juil	5,94	7,03	13,00	0,85
	6-aout	3,71	6,71	14,00	0,80
	28-aout	7,75	6,87	12,50	0,80
	17-sept	2,62	6,86	10,30	0,87
	4-mai	3,73	6,79	5,50	0,89
1999	27-mai	5,89	6,68	8,00	0,78
	17-juin	4,67	6,69	12,00	0,74
	9-juil	9,88	6,77	14,50	0,76
	3-aout	5,32	6,41	15,00	0,85
	24-aout	8,21	6,88	14,00	0,78
1999	14-sept	5,12	6,75	14,50	0,76
	14-oct	7,73	7,18	9,00	0,57

**Piézo 3**  
**Rivière**

Année	Dates	nitrate (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	20,71	7,40	13,00	0,34
	15-juin	25,69	6,94	14,00	0,34
	05-juil	25,28	6,15	17,00	0,44
	30-juil	20,17	6,74	16,30	0,41
	25-aout	11,04	6,60	15,20	0,47
1996	21-sept	7,65	5,97	12,30	0,49
	27-sept	17,54	6,21	9,90	0,28
	02-oct	3,21	6,04	4,00	0,21
	25-mai	5,94	6,00	8,00	0,24
	18-juin	6,89	6,16	13,00	0,32
1996	27-juin	8,16	6,37	12,30	0,24
	10-juil	4,56	6,15	13,30	0,22
	21-juil	4,35	6,29	14,20	0,15
	04-sept	7,83	6,21	13,90	0,36
	26-sept	3,84	5,80	8,00	0,27
1997	14-mai	10,78	5,72	5,00	0,20
	05-juin	12,55	5,98	9,00	0,26
	10-juil	15,59	5,75	13,50	0,25
	12-aout	13,67	6,02	15,00	0,37
	15-mai	16,69	6,42	6,00	0,26
1998	25-juin	6,60	5,98	13,00	0,26
	14-juil	4,36	6,19	14,00	0,17
	6-aout	8,02	6,28	14,50	0,30
	28-aout	5,27	6,10	13,00	0,23
	17-sept	2,22	6,27	9,80	0,20
1999	4-mai	5,72	6,04	8,00	0,23
	27-mai	7,97	6,13	10,00	0,26
	17-juin	11,15	6,23	12,00	0,24
	9-juil	6,48	6,38	14,50	0,24
	3-aout	7,51	6,18	14,00	*
1999	24-aout	9,65	6,56	15,00	0,32
	14-sept	3,49	6,47	14,00	0,31
	14-oct	2,30	6,85	9,00	0,08

Site R3

Année	Dates	nitates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	15,48	7,29	13,00	0,50
	15-juin	23,81	7,22	13,00	0,59
	05-juil	22,81	7,26	14,10	0,84
	30-juil	14,23	7,40	16,40	0,60
	25-sept	7,21	7,40	15,20	0,62
1996	21-sept	12,75	7,41	12,20	0,72
	27-sept	14,08	7,18	8,90	0,48
	02-mai	9,15	7,13	4,20	0,38
	25-mai	16,15	7,29	8,00	0,41
	18-juin	20,98	7,45	13,20	0,47
1996	27-juin	18,26	7,60	13,00	0,40
	10-juil	13,26	7,36	14,90	0,38
	21-juil	16,43	7,27	14,50	0,31
	04-sept	36,07	7,31	14,10	0,51
	26-sept	27,88	7,32	8,00	0,39
1997	14-mai	33,26	6,88	6,00	0,32
	05-juin	37,92	7,41	9,00	0,38
	10-juil	8,18	7,34	13,00	0,38
	12-sept	51,66	7,28	14,00	0,50
	15-mai	65,50	7,11	7,00	*
1998	25-juin	8,55	6,97	13,50	0,34
	14-juil	3,84	7,15	14,00	0,25
	9-sept	1,18	7,00	15,00	0,39
	28-sept	1,21	6,94	13,00	0,24
	17-sept	8,15	7,05	9,50	0,28
1999	4-mai	8,15	7,05	7,00	0,34
	27-mai	2,83	7,25	10,00	0,39
	17-juin	1,75	7,17	12,50	0,38
	9-juil	1,92	7,12	15,00	0,34
	3-sept	4,03	6,78	15,00	0,38
1999	24-sept	17,31	7,46	15,00	0,37
	14-sept	6,64	7,31	14,50	0,34
	14-sept	2,96	7,87	8,50	0,19

Piézo 6 Rivière

Année	Dates	nitates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	12,89	7,14	12,20	0,87
	15-juin	7,42	7,24	11,30	0,97
	05-juil	3,18	7,30	14,00	1,10
	30-juil	5,05	7,37	15,50	1,10
	25-sept	8,36	7,35	15,00	1,19
1996	21-sept	5,23	7,26	12,90	1,24
	27-sept	4,30	7,17	10,00	0,93
	02-mai	11,08	7,37	3,10	0,84
	25-mai	14,51	7,29	6,90	0,92
	18-juin	19,83	7,36	11,00	1,02
1996	27-juin	20,60	7,57	12,00	0,81
	10-juil	19,77	7,43	13,00	0,88
	21-juil	16,96	7,26	14,00	1,08
	04-sept	39,88	7,42	14	1,08
	26-sept	25,72	7,46	8,90	0,88
1997	14-mai	23,07	6,90	4,50	0,79
	05-juin	28,66	7,01	8,00	0,88
	10-juil	8,10	6,97	12,00	0,82
	12-sept	48,31	7,14	14,00	1,03
	15-mai	41,84	6,83	4,50	*
1998	25-juin	15,40	6,94	11,00	1,01
	14-juil	26,04	7,10	13,50	0,85
	6-sept	21,67	6,95	13,50	1,02
	28-sept	34,17	6,85	13,00	1,01
	17-sept	15,46	7,00	10,20	0,84
1999	4-mai	26,60	7,24	5,00	0,92
	27-mai	19,61	6,94	8,50	1,02
	17-juin	16,84	6,85	11,00	0,95
	9-juil	26,38	7,00	14,00	0,96
	3-sept	18,94	6,67	15,00	1,01
1999	24-sept	21,75	6,86	14,50	1,02
	14-sept	16,13	6,81	14,00	0,95
	14-sept	44,45	7,22	9,50	0,70

Piézo 5 Centre

Année	Dates	nitates (mg/L)	pH	Température °C	profondeur (m)
1995	31-mai	6,46	7,26	11,90	1,15
	15-juin	*	*	*	*
	05-juil	16,91	7,28	13,70	1,63
	30-juil	8,41	7,38	14,90	1,28
	25-sept	6,54	7,36	14,90	1,37
1996	21-sept	3,88	7,28	13,00	1,42
	27-sept	6,31	7,16	10,10	1,07
	02-mai	8,96	7,20	3,00	0,88
	25-mai	12,18	7,14	6,20	1,06
	18-juin	19,74	7,25	11,00	1,19
1996	27-juin	15,42	7,21	11,00	1,07
	10-juil	8,65	6,95	12,20	1,04
	21-juil	6,67	6,84	13,80	0,92
	04-sept	8,53	7,06	14,00	1,27
	26-sept	7,57	7,21	9,00	1,07
1997	14-mai	30,76	6,83	3,50	0,99
	05-juin	36,65	7,61	8,00	1,07
	10-juil	*	*	*	*
	12-sept	65,93	7,17	13,00	1,21
	15-mai	68,41	7,02	5,00	1,13
1998	25-juin	3,90	7,04	10,50	1,14
	14-juil	3,24	7,19	13,50	1,00
	6-sept	1,84	7,06	14,00	1,19
	28-sept	5,18	6,83	14,00	1,19
	17-sept	2,50	7,10	10,80	1,04
1999	4-mai	2,19	7,07	5,00	1,11
	27-mai	3,30	7,10	9,00	1,22
	17-juin	2,61	7,00	11,00	1,11
	9-juil	7,81	7,13	14,00	1,17
	3-sept	7,92	6,82	14,50	1,21
1999	24-sept	20,72	7,52	14,00	1,20
	14-sept	3,66	7,21	15,00	1,13
	14-sept	1,94	7,46	10,00	0,82

Piézo 4 Champ



## **Annexe D**

### **Statistiques**

Tableau D 1: Analyse de variance sur les positions des piézomètres

Trait.	Date	Type	Valeur moyenne en nitrate (mg N/L) *			Pr > F
			Piézomètre			
			1	2	3	
A	25/08/95	1	14,41	10,30	4,64	0,0457
	21/09/95	2	3,85	2,77	4,04	0,0880
	27/06/96	2	18,05	15,23	7,27	0,0550
	04/09/96	2	19,62	17,45	9,21	0,0674
	25/06/98	2	46,31	1,31	1,85	0,0203
	17/06/99	2	27,08	26,70	1,53	0,0634
	H	27/06/96	2	27,73	10,11	13,11
10/07/96		2	10,61	6,05	12,86	0,0394
06/08/98		1	30,97	2,15	1,80	0,0032
17/10/98		2	5,93	1,24	2,95	0,0249
04/05/99		1	2,57	1,53	5,26	0,0873
17/06/99		2	67,39	2,21	3,45	0,0001
03/08/99		1	7,92	3,43	2,82	0,0513
24/08/99		1	21,49	12,18	8,39	0,0947
14/09/99		1	5,23	3,48	2,75	0,0888
R	05/07/95	1	2,18	2,93	15,18	0,0707
	25/08/95	1	3,12	7,54	13,00	0,0152
	21/09/95	2	2,61	4,55	9,36	0,0369
	27/10/95	1	2,89	2,35	13,82	0,0054
	27/05/99	1	2,39	3,54	7,40	0,0306
	17/06/99	1	1,88	2,38	8,48	0,0784
	03/08/99	1	3,28	3,03	7,63	0,0973

\* Les valeurs moyennes indiquées représentent la moyenne de 3 répétitions.  
trait= traitement

Tableau D 2: Effet du traitement (A, H, R) et de la portion de la bande riveraine sur l'efficacité de la bande riveraine

Position	Type	source de variation	Différences significatives			Pr > F
			A-H	A-R	H-R	
Champ	1	Traitement				
	2	Traitement			*	0,0239
Bande	1	Traitement		*	*	0,0001
	2	Traitement		*	*	0,0001
Rivière	1	Traitement		*	*	0,0001
	2	Traitement	*	*	*	0,0001

\*signifie qu'il y a une différence significative à  $P \leq 0,05$  entre ces deux types de traitement.

Tableau D 3: Analyse statistique pour vérifier les relations entre les différents paramètres mesurés sur le terrain.

	Nb d'observations	R <sup>2</sup>	Ordonnée à l'origine	Pr>R *	pH	Pr>R **
<b>pH et Nitrate</b>	1401	0,0257	-55,3523	0,0001	10,1476	0,0001
<b>pH et Profondeur</b>	1397	0,0105	6,8328	0,0001	0,1131	0,0001
<b>pH et Température</b>	1401	0,0209	6,7248	0,0001	T	Pr>R
<b>Profondeur et Nitrate</b>	1395	0,0091	9,1569	0,0001	prof	Pr>R
<b>Température et profondeur</b>	1397	0,0099	12,1630	0,0001	prof	Pr>R

\* Probabilité de l'ordonnée à l'origine

\*\* Probabilité du paramètre dépendant.

Tableau D 4 : Probabilités des sites présentant une différence significative au niveau des effets de la culture sur la bande riveraine pour tous les échantillonnages (toutes les dates).

Site	Pr > F
A1	0,0020
A3	0,0017
H2	0,0257
H3	0,0001
R2	0,0883