

**MÉMOIRE DE MAITRISE**

**INRS-EAU**

**CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES  
PAR LES NITRATES**

par

Marie-Claude Chapdelaine

Directeur: Jean-Pierre Villeneuve

Codirecteur: Olivier Banton

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC  
2800, rue Einstein  
Suite 105  
Québec (Québec)  
G1X 4N8**

**Mai 1992**

## REMERCIEMENTS

Je voudrais remercier Monsieur Jean-Pierre Villeneuve ainsi que Monsieur Olivier Banton pour leurs soutiens financier et académique tout au long de ce projet. J'ai grandement apprécié leur disponibilité ainsi que leurs précieux conseils.

La partie expérimentale de terrain a été réalisée en collaboration avec Lise Gauthier et Denis Côté du MAPAQ, de même que Jean Gauthier étudiant stagiaire à l'INRS-EAU. Je les remercie pour leur contribution technique au projet. La partie expérimentale de laboratoire a été réalisée avec succès grâce aux bons conseils de Bernard Veilleux et de Sylvie St-Pierre. Je tiens à remercier Luc Perreault et France Pelletier pour leur aide lors du traitement statistique.

Merci à mes confrères et consoeurs de la maîtrise pour leurs encouragements et leur soutien, ainsi qu'à tout le personnel de l'INRS-EAU pour leur participation technique et académique tout au long de la maîtrise.

## RÉSUMÉ

Cette étude s'inscrit dans la problématique de la contamination de l'eau souterraine par les nitrates en milieu agricole. Depuis quelques années, on retrouve des nitrates dans l'eau souterraine en concentrations de plus en plus importantes dont certaines dépassent la norme québécoise de potabilité de l'eau fixée à 10 mg/L. De nombreuses recherches ont été réalisées afin de mieux comprendre les processus impliqués dans le cycle de l'azote et d'en réduire les pertes.

Cette étude a pour but d'étudier le problème de la contamination des eaux souterraines par les nitrates d'origine agricole en considérant: deux types de sol (loam sableux et loam argileux), deux types de fertilisants (fertilisation inorganique et fertilisation inorganique et organique), différentes doses de lisier (0, 30, 60, 90 et 120 m<sup>3</sup>/ha), et différentes techniques d'échantillonnage.

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes. Le loam argileux décale davantage l'impact des fertilisations que le loam sableux. La vitesse de lessivage des nitrates dans le sol, estimée à l'automne, est de 4 cm/jour pour le loam sableux et de 2 cm/jour pour le loam argileux. Les concentrations montrent que pour le loam sableux l'impact des fertilisations est observable jusqu'à 90 cm de profondeur alors que pour le loam argileux l'impact est visible en surface seulement. Pour l'échantillonnage d'eau et l'échantillonnage de sol, la fertilisation organique et inorganique entraîne des concentrations en nitrates supérieures à celles du traitement inorganique seul surtout à grande profondeur. Cependant, l'écart entre les deux traitements est faible si l'on considère que la fertilisation inorganique et organique a un surplus d'environ 70 kg/ha d'azote par rapport à la fertilisation inorganique seule. Aucune différence significative n'est par ailleurs observée dans les deux mois suivant l'application entre les concentrations mesurées à différentes profondeurs pour les différentes doses d'épandage de lisier. Les concentrations en nitrates mesurées par échantillonnage du sol sont supérieures à celles mesurées par échantillonnage de l'eau. Un synchronisme des variations des concentrations en nitrates dans l'eau et dans le sol est cependant observé graphiquement.

## TABLE DES MATIERES

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| REMERCIEMENTS .....      | i   |
| RÉSUMÉ .....             | ii  |
| TABLE DES MATIERES ..... | iii |
| LISTE DES FIGURES .....  | v   |
| LISTE DES TABLEAUX ..... | vi  |

### 1.0 INTRODUCTION

|   |   |
|---|---|
| 1.1 PROBLÉMATIQUE .....                     | 1 |
| 1.2 ÉTAT DE LA RECHERCHE .....              | 3 |
| 1.3 OBJECTIFS DU TRAVAIL DE RECHERCHE ..... | 4 |

### 2.0 LES PRINCIPAUX PROCESSUS DU CYCLE DE L'AZOTE

|  |   |
|--|---|
| 2.1 INTRODUCTION .....                               | 5 |
| 2.2 SOURCES D'AZOTE .....                            | 6 |
| 2.3 PROCESSUS DE MINÉRALISATION/IMMOBILISATION ..... | 7 |
| 2.4 PROCESSUS DE NITRIFICATION/DÉNITRIFICATION ..... | 7 |
| 2.5 LESSIVAGE DES NITRATES .....                     | 9 |

### 3.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES

|   |    |
|---|----|
| 3.1 TRAVAUX DE TERRAIN .....  | 11 |
| 3.1.1 LOCALISATION DES SITES .....                                      | 11 |
| 3.1.2 MÉTHODOLOGIE D'ÉCHANTILLONNAGE .....                              | 12 |
| 3.1.3 DESCRIPTIONS PÉDOLOGIQUES<br>ET CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES ..... | 14 |
| 3.1.4 PRATIQUES CULTURALES .....  | 16 |
| 3.1.5 CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES .....                                  | 18 |
| 3.2 ANALYSES DE LABORATOIRE .....                                       | 18 |
| 3.2.1 METHODE D'EXTRACTION POUR LES SOLS .....                          | 20 |
| 3.2.2 DOSAGE DES NITRITES/NITRATES .....                                | 20 |
| 3.2.3 DOSAGE DE L'AMMONIUM .....  | 21 |
| 3.3 ANALYSE DE VARIANCE AVEC LE LOGICIEL SAS .....                      | 22 |

## **TABLE DES MATIERE (suite)**

### **4.0 RÉSULTATS**

|  |           |
|--|-----------|
| 4.1 CONCENTRATIONS EN NITRATES DANS L'EAU A ST-AUGUSTIN . . . . .  | 23        |
| 4.1.1 $[\text{NO}_3^-]_{\text{eau}}$ AU SITE 1 . . . . .   | 23        |
| 4.1.2 $[\text{NO}_3^-]_{\text{eau}}$ AU SITE 2 . . . . .   | 26        |
| 4.1.3 COMPARAISONS DES $[\text{NO}_3^-]_{\text{eau}}$ AUX SITES 1 ET 2 . . . . .   | 31        |
| 4.2 CONCENTRATIONS EN NITRATES DANS LE SOL A ST-AUGUSTIN . . . . .   | 34        |
| 4.2.1 $[\text{NO}_3^-]_{\text{sol}}$ AU SITE 1 . . . . .   | 34        |
| 4.2.2 $[\text{NO}_3^-]_{\text{sol}}$ AU SITE 2 . . . . .   | 37        |
| 4.2.3 COMPARAISONS DES $[\text{NO}_3^-]_{\text{sol}}$ AUX SITES 1 ET 2 . . . . .   | 40        |
| 4.3 COMPARAISONS ENTRE LES $[\text{NO}_3^-]_{\text{eau}}$ ET LES $[\text{NO}_3^-]_{\text{sol}}$<br>A ST-AUGUSTIN . . . . . | 43        |
| 4.4 INFLUENCE DE LA DOSE DE LISIER . . . . .   | 49        |
| 4.4.1 $[\text{NO}_3^-]_{\text{sol}}$ AU SITE 3 DE ST-LAMBERT . . . . .   | 49        |
| 4.4.2 ANALYSE DE VARIANCE . . . . .  | 54        |
| <br>   |           |
| <b>5.0 DISCUSSION GÉNÉRALE ET CONCLUSION . . . . .</b>   | <b>57</b> |
| <br>   |           |
| <b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES . . . . .</b>   | <b>61</b> |
| <br>   |           |
| <b>ANNEXES . . . . .</b>   | <b>68</b> |
| A.1.1 SOL / SITES 1 ET 2 / NITRATES . . . . .  | 69        |
| A.1.2 SOL / SITE 3 / NITRATES . . . . .  | 71        |
| A.1.3 SOL / SITES 1 ET 2 / AMMONIUM . . . . .  | 73        |
| A.1.4 SOL / SITE 3 / AMMONIUM . . . . .  | 75        |
| A.1.5 EAU / SITE 1 / NITRATES . . . . .  | 77        |
| A.1.6 EAU / SITE 2 / NITRATES . . . . .  | 78        |
| A.1.7 EAU / SITE 1 / AMMONIUM . . . . .  | 79        |
| A.1.8 EAU / SITE 2 / AMMONIUM . . . . .  | 80        |

## LISTE DES FIGURES

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1  | Cycle de l'azote . . . . .  | 5  |
| 3.1  | Localisation géographique de St-Augustin et St-Lambert . . . . .  | 11 |
| 3.2  | Schéma des sites expérimentaux de St-Augustin . . . . .   | 12 |
| 3.3  | Schéma du site expérimentale de St-Lambert . . . . .  | 13 |
| 3.4  | Températures et précipitations réelles et normales . . . . .<br>pour la période de mai à novembre 1991 (Source: Env. Canada)                      | 19 |
| 4.1  | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans<br>l'eau interstitielle à 50 cm et 100 cm de profondeur au site 1 . . . . .      | 24 |
| 4.2  | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates<br>dans l'eau interstitielle à 150 cm de profondeur au site 1 . . . . .               | 26 |
| 4.3  | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans<br>l'eau interstitielle à 30 cm et 55 cm de profondeur au site 2 . . . . .       | 27 |
| 4.4  | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans<br>l'eau interstitielle à 80 cm et 105 cm de profondeur au site 2 . . . . .      | 29 |
| 4.5  | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau<br>interstitielle à toutes les profondeurs pour les sites 1 et 2 . . . . . | 32 |
| 4.6  | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates<br>dans l'eau du sol à 20 cm et 50 cm de profondeur au site 1 . . . . .               | 35 |
| 4.7  | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates<br>dans l'eau du sol à 90 cm de profondeur au site 1 . . . . .                        | 36 |
| 4.8  | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates<br>dans l'eau du sol à 20 cm et 50 cm de profondeur au site 2 . . . . .               | 38 |
| 4.9  | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates<br>dans l'eau du sol à 90 cm de profondeur au site 2 . . . . .                        | 39 |
| 4.10 | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans<br>l'eau du sol à toutes les profondeurs pour les sites 1 et 2 . . . . .         | 41 |

## LISTE DES FIGURES (suite)

|      |   |    |
|------|---|----|
| 4.11 | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau et dans le sol à 50 cm de profondeur au site 1 .....   | 44 |
| 4.12 | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau à 100 cm et dans le sol à 90 cm de profondeur au site 1 .....  | 45 |
| 4.13 | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau à 55 cm et dans le sol à 50 cm de profondeur au site 2 .....   | 46 |
| 4.14 | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau à 80 cm et dans le sol à 90 cm de profondeur au site 2 .....   | 47 |
| 4.15 | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans le sol à 20 cm et 50 cm de profondeur pour les doses de 30, 60, 90 et 120 m <sup>3</sup> /ha au site 3 .....                   | 50 |
| 4.16 | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans le sol à 90 cm de profondeur pour les doses de 30, 60, 90 et 120 m <sup>3</sup> /ha au site 3 .....                            | 51 |
| 4.17 | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans le sol pour les doses de 30 m <sup>3</sup> /ha et 60 m <sup>3</sup> /ha à 20 cm, 50 cm et 90 cm de profondeur au site 3 .....  | 52 |
| 4.18 | Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans le sol pour les doses de 90 m <sup>3</sup> /ha et 120 m <sup>3</sup> /ha à 20 cm, 50 cm et 90 cm de profondeur au site 3 ..... | 53 |

## LISTE DES TABLEAUX

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 3.1 | Durée et nombre d'échantillonnages pour les sites de St-Augustin et de St-Lambert ..... | 14 |
| 3.2 | Paramètres physiques du site 1 .....  | 15 |
| 3.3 | Paramètres physiques du site 2 .....  | 15 |
| 3.4 | Calendrier des pratiques culturales au site 1 en 1991 .....                             | 16 |

**LISTE DES TABLEAUX (suite)**

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.5 | Calendrier des pratiques culturelles au site 2 en 1991 . . . . . | 17 |
| 3.6 | Calendrier des pratiques culturelles au site 3 en 1991 . . . . . | 18 |
| 4.1 | Résultats de l'analyse de variance pour le site 3 . . . . .      | 55 |

## **CHAPITRE 1 INTRODUCTION**

### **1.1 PROBLÉMATIQUE DE LA CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES PAR LES NITRATES EN MILIEU AGRICOLE**

Le but de l'agriculture est de nourrir une population mondiale sans cesse croissante. Le défi des agriculteurs est donc de produire toujours plus, et de maximiser la productivité et la rentabilité de leurs entreprises. Pour atteindre cet objectif, ils se sont donné différents moyens techniques dont l'un d'eux est l'utilisation des fertilisants inorganiques.

En 1982, 72 pays produisaient des fertilisants azotés pour une production totale mondiale de 99 mégatonnes (Mt). La quantité d'azote utilisée mondialement était de 31.8 Mt en 1970, de 60.3 Mt en 1980, de 90 Mt en 1990 et l'on prévoit qu'elle sera d'environ 111 à 134 Mt en l'an 2000 (Newbould, 1989). Plus près de nous, au Québec, on a observé une augmentation de la consommation des fertilisants azotés de plus de 400 % au cours des 25 dernières années (MENVIQ, 1988). De plus en plus de fertilisants sont appliqués sur seulement 11 % de la surface terrestre que représentent les terres arables. Il faut ajouter l'azote provenant des fumiers, des résidus des récoltes, des retombées atmosphériques et des processus de fixation et de minéralisation par les microorganismes (Newbould, 1989).

On remarque la présence d'azote en concentrations de plus en plus importantes dans l'atmosphère et dans l'eau. Dans l'atmosphère, les oxydes nitriques, formés par le processus de dénitrification, ont un effet néfaste sur la couche d'ozone (Newbould, 1989). Dans l'eau souterraine, la présence des nitrates a des conséquences directes sur la santé des humains et des écosystèmes aquatiques.

Pour ce qui est de l'eau souterraine, la norme québécoise sur la potabilité de l'eau destinée à la consommation humaine fixe à 10 mg N-NO<sub>3</sub>/L la concentration maximale permise en nitrates (MENVIQ, 1990a). Au delà de cette norme, l'eau est jugée dangereuse pour la santé humaine et peut causer un dérèglement sanguin, la méthémoglobinémie, pouvant être mortelle pour les enfants et les foetus des femmes enceintes. Des effets à plus long terme sur l'homme par les nitrosamines, composés cancérigènes, peuvent exister. Les effets sur le milieu sont importants. Le rejet de nutriments dans les eaux entraîne l'eutrophisation des eaux de surface (lacs et rivières).

Comme 26% de la population canadienne, dont 20% de la population québécoise, dépendaient des eaux souterraines en 1981, il n'est pas exagéré de considérer avec beaucoup d'attention ce problème de contamination de l'eau souterraine par les nitrates (MENVIQ, 1988). En Europe, aux Etats-Unis et en Ontario des analyses ont montré qu'en région agricole les concentrations en nitrates dans l'eau de la nappe phréatique étaient fréquemment supérieures à la norme (Stebel et al., 1989; Côté, 1990a; Egboka, 1984). Les pratiques culturales québécoises étant semblables, il est justifié de craindre de retrouver la même situation au Québec et c'est pourquoi il faut y remédier le plus tôt possible car la régénération d'un aquifère contaminé peut nécessiter plusieurs décennies.

Remédier à cette situation signifie qu'il faut réduire au maximum le lessivage des nitrates vers l'eau de surface et souterraine en optimisant l'utilisation des fertilisants azotés par les plantes. Ceci implique de mieux évaluer les besoins des plantes en azote, de connaître les influences des pratiques culturales choisies, d'analyser les différents processus du cycle de l'azote en relation avec le type de sol cultivé et d'évaluer l'impact de la composition du fertilisant, de la dose appliquée et de la date d'épandage.

Pour protéger cette ressource essentielle à la vie qu'est l'eau, il faut opter pour de nouvelles pratiques agricoles qui seront techniquement applicables, économiquement rentables et surtout environnementalement acceptables.

## 1.2 ÉTAT DE LA RECHERCHE

Le problème de la contamination de l'eau souterraine par les nitrates d'origine agricole est une conséquence des efforts de recherche qui ont été faits afin d'améliorer le rendement des cultures. En effet, ces efforts ont créé toute une gamme de produits tels les fertilisants inorganiques, les herbicides et les pesticides.

L'application de fertilisants azotés répond aux demandes de productivité des agriculteurs en améliorant la qualité et le rendement des récoltes. Cependant, vers la fin des années 60, on découvrit peu à peu les effets néfastes que pouvaient avoir ces fertilisants sur l'eau et sur l'atmosphère suite au lessivage des nitrates et à la dénitrification. Depuis, de nombreuses recherches ont été réalisées afin de mieux comprendre les processus impliqués dans le cycle de l'azote, et dans le but de réduire les pertes d'azote.

Aujourd'hui encore, de nombreuses études portent sur les processus de fixation (Martenssen et al., 1990), de minéralisation/immobilisation (Zagal, 1991) et de nitrification/dénitrification. On développe ainsi des méthodes de mesure (Debosz et al., 1988) afin de quantifier l'importance relative de chacun des processus et de décrire la dynamique des échanges entre ceux-ci, afin de modéliser le devenir de l'azote dans le sol. Il existe peu de modèles de gestion, mais beaucoup de modèles de recherche qui, par l'arrivée d'outils informatiques puissants, deviennent de plus en plus sophistiqués et complexes (Groot et al., 1990; Frissel et al., 1982).

Des recherches portent aussi sur l'amélioration des pratiques culturales. On teste différents types de fumier, différents modes d'épandage, différents mélanges avec de la paille (Mahli et al., 1989), ou avec du bois (Mackay et al., 1989). On compare les fertilisations inorganiques et organiques (Wermke, 1987), on restaure des ruisseaux et des marécages afin de réduire la charge de nitrates

déversée dans les eaux de surface (Swedish Env. Prot. Agency, 1991), et on bâtit des systèmes d'informations géographiques (SIG) sur le potentiel de pollution des eaux souterraines pour différentes régions (Halliday et al., 1991).

La problématique de la contamination des eaux souterraines par les nitrates tient une place importante dans le domaine de la recherche, et beaucoup de temps et d'argent sont investis afin de protéger cet élément essentiel qu'est l'eau.

### **1.3 OBJECTIFS DU TRAVAIL DE RECHERCHE**

Le but de la présente étude est d'étudier le problème de la contamination des eaux souterraines par les nitrates d'origine agricole en considérant:

- deux types de sol (loam sableux et loam argileux)
- deux types de fertilisant (fertilisation inorganique FI et fertilisation inorganique et organique FIO)
- différentes doses appliquées de lisier (0, 30, 60, 90 et 120 m<sup>3</sup>/ha)
- deux techniques d'échantillonnage (échantillons de sol et échantillons d'eau interstitielle)

Le suivi des nitrates est ainsi effectué sur 3 sites à l'aide de deux méthodes d'échantillonnage (échantillons d'eau interstitielle et de sol). Nous décrirons les résultats obtenus et nous les discuterons. Nous compléterons notre étude avec une analyse de variance réalisée avec le logiciel statistique SAS.

## CHAPITRE 2 LES PRINCIPAUX PROCESSUS DU CYCLE DE L'AZOTE

### 2.1 INTRODUCTION

Le cycle de l'azote représente le déplacement de l'azote, entre l'atmosphère et la biosphère, sous différentes formes chimiques. Dans l'atmosphère, l'azote se trouve sous forme gazeuse. Dans les sols, on retrouve l'azote sous deux formes: organique principalement et inorganique ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NO}_2^-$ ). C'est seulement sous sa forme inorganique que l'azote est directement assimilable par les plantes, et dont les nitrites et nitrates représentent les phases solubles dans l'eau. La Figure 1.1 montre schématiquement le cycle composé de plusieurs sous-cycles, dans lesquels les microorganismes jouent un rôle très important pour les transformations biochimiques de l'azote: fixation de  $\text{N}_2$  (gazeux), minéralisation / immobilisation et nitrification / dénitrification. En effet, toute la dynamique des échanges entre ces processus est liée au degré d'activité de la biomasse en place, qui est à son tour dépendante des conditions du milieu (température et densité du sol, humidité, ratio C/N, potentiel d'oxydo-réduction, concentration en oxygène dans le sol).

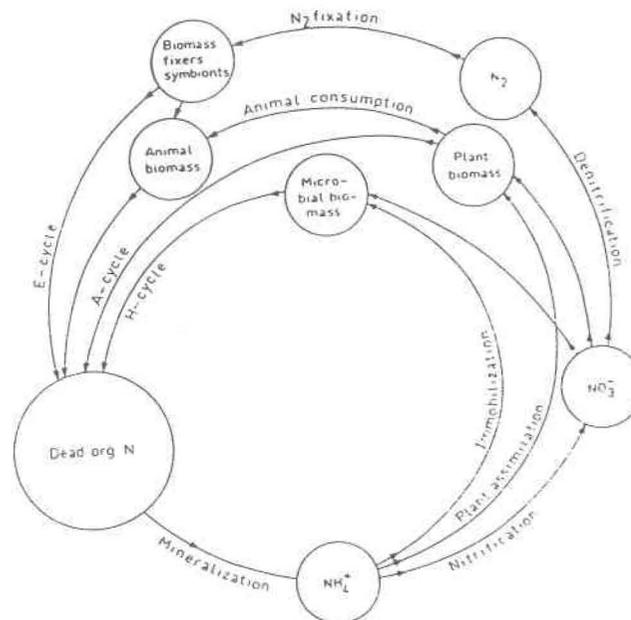


Figure 1.1 Cycle de l'azote (Source: Stevenson, 1982)

## 2.2 SOURCES D'AZOTE

Les principales sources naturelles d'azote sont les précipitations atmosphériques et la fixation biologique. On estime à 0.194 Mt la quantité totale d'azote qui est ajoutée au sol chaque année grâce aux précipitations atmosphériques et au processus biochimique de fixation de l'azote gazeux (Stevenson, 1982). 25 % proviennent des précipitations atmosphériques et se retrouvent sous forme de  $\text{NH}_4^+$ , de  $\text{NO}_2^-$ , de  $\text{NO}_3^-$  et d'azote organique lié. La présence de sources de  $\text{NH}_3$  dans l'atmosphère est attribuée principalement à la volatilisation venant de la surface terrestre, à l'utilisation de combustible fossile et aux feux de forêts. L'origine des  $\text{NO}_3^-$  reste inconnu, quoique certains l'expliquent par les décharges électriques.

Le processus de fixation biologique représente la principale source naturelle d'azote avec une contribution annuelle de 0.139 Mt. L'azote gazeux  $\text{N}_2$  contenu dans l'air ne peut pas être directement assimilé par les plantes. Certains microorganismes symbiotiques et non-symbiotiques (algues bleu-vertes, bactéries et nodules) le transforment biochimiquement sous la forme minérale  $\text{NH}_3$ . Les conditions optimales de développement et d'efficacité de fixation varient selon les populations de microorganismes et sont généralement: lumière, sources énergétiques suffisantes (carbone), peu d'azote disponible dans le sol, nutriments suffisants (calcium, magnésium, potassium), concentration en nitrates faible, température, pH neutre, taux d'oxygène et humidité du sol (Lal, 1988; Havelka et al., 1982). Le processus de fixation biologique, instigateur du cycle de l'azote, contribue de façon importante à la fertilité des sols avec un apport important de cet élément essentiel à la croissance des cultures (Stevenson, 1982). Malgré cela, les pressions économiques de productivité ont poussé les agriculteurs à utiliser de plus en plus de fertilisants organiques (fumiers) et inorganiques (engrais chimiques) pour palier à une demande élevée de rendement. A noter qu'il existe une autre source non négligeable d'azote que sont les eaux usées domestiques et industrielles (Gold et al., 1990).

### 2.3 PROCESSUS DE MINÉRALISATION / IMMOBILISATION

Le processus de minéralisation de l'azote se définit comme la transformation, par les microorganismes hétérotrophes du sol, de l'azote organique (protéines, acides nucléiques) en azote inorganique ( $\text{NH}_4^+$ ). L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) est soit fixé aux particules argileuses, donc non-échangeable, soit disponible aux plantes. Si l'azote disponible dans la matière organique est suffisant pour les besoins de la biomasse du sol, il y aura production d'azote inorganique. Par contre, si elle est insuffisante, il y aura immobilisation de l'azote minérale ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NO}_2^-$ ) sous forme organique (Steen, 1989). Ces colonies de microorganismes nécessitent un apport en énergie (ratio C/N) suffisant et constant ainsi que des conditions de température, d'humidité, d'aération et de pH qui permettent leur développement.

Ces processus de minéralisation et d'immobilisation jouent un rôle important dans le cycle de l'azote et veillent au maintien et à la croissance de la biomasse (immobilisation) et des plantes (assimilation). Ils gèrent la transformation de l'azote organique, provenant de la décomposition des plantes, sous la forme minérale utilisée pour la croissance des plantes (photosynthèse). De plus, tous les intervenants dans le cycle de l'azote, (microorganismes, plantes, animaux), dépendent de cette dynamique entre les formes organiques et inorganiques de l'azote.

### 2.4 PROCESSUS DE NITRIFICATION / DÉNITRIFICATION

Le processus de nitrification se définit comme la transformation de l'ammonium  $\text{NH}_4^+$  en nitrate  $\text{NO}_3^-$  par des bactéries nitrifiantes autotrophes et hétérotrophes. Suite au processus de minéralisation donnant l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NH}_3$ ), un premier groupe de bactéries oxydantes génèrent des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et un second groupe des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ). La rapidité avec laquelle

s'effectue la seconde oxydation est telle qu'en général les nitrites ne se retrouvent qu'en très faibles quantités dans les sols comparativement aux nitrates.

La nitrification est le plus important processus générateur de nitrates en terme de quantité. L'apport annuel de nitrates par nitrification, est environ le double de celui par les précipitations atmosphériques. Les facteurs limitants pour ce processus sont la concentration en  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{O}_2$  et  $\text{CO}_2$ , le pH, le ratio C/N, la teneur en eau, la température et le potentiel redox du sol. Les conditions optimales pour l'ensemble de ces facteurs limitants est difficile à établir. Le type de sol, la composition et la quantité d'eau présente vont influencer la concentration en carbone assimilable et la quantité d'oxygène disponible. En général, un sol très humide et froid ne sera pas efficace. Un minimum de 4 à 5 degrés Celcius est requis, et un sol saturé ne pourra satisfaire la demande en oxygène des bactéries (Schmidt, 1982). Des conditions de faible pH ou de concentration élevée en métaux lourds réduisent aussi le processus de nitrification (Lal, 1988).

Le processus de dénitrification se définit comme la transformation des nitrates sous formes gazeuses:  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  et  $\text{NO}_2$ . Ce processus varie dans le temps et dans l'espace selon la concentration en oxygène, la teneur en eau, la présence de nitrates et de matière organique dans le sol (Klemedtsson et al., 1991, Groffman et al., 1988). La concentration en oxygène est principalement liée à la teneur en eau et au développement du système racinaire de la plante cultivée. Les bactéries dénitrifiantes dépendent de la quantité de matière organique disponible et du type de culture. Une baisse en oxygène dans le sol peut déclencher ce processus dont l'importance a été démontrée par Jansson et Siman (1978) qui ont estimé à 50 % les pertes d'azote par dénitrification, le lessivage représentant l'autre part. A faible profondeur, la dénitrification est le principal processus responsable de la perte d'azote dans le sol (Avnimelech et al., 1976).

L'utilisation d'inhibiteurs retarde le processus de nitrification et ainsi réduit

les pertes par dénitrification. L'azote est conservé sous la forme ammonium et la quantité de nitrates lessivés est grandement diminuée (Rolston, 1989).

## **2.5 LESSIVAGE DES NITRATES**

Dans le cycle de l'azote, les nitrates peuvent être assimilés par les plantes et les microorganismes, retournés à l'atmosphère par les processus de dénitrification et de volatilisation, ou captés par l'eau qui s'infiltré dans le sol et être transportés vers les nappes d'eau souterraine. Contrairement aux ions ammonium, qui s'adsorbent facilement sur les surfaces des particules argileuses, les nitrates sont très mobiles étant donné leur grande solubilité dans l'eau. De nombreuses recherches ont montré que les principaux facteurs impliqués dans le lessivage des nitrates sont le climat, le type de sol, le type de culture et la fertilisation (Strebel et al., 1989).

Le climat va influencer le lessivage par la fréquence et la durée des précipitations. L'eau qui s'infiltré dans le sol agit comme vecteur de transport des nitrates. La température, qui est un facteur limitant de l'activité microbienne impliquée dans le cycle de l'azote, va aussi influencer la concentration en nitrates.

L'influence du type de sol réside dans sa capacité de rétention de l'eau liée à la matière organique, aux particules argileuses (granulométrie, teneur en eau, perméabilité) et au développement du système racinaire des plantes (Kaspar et al., 1991). Ce pouvoir de rétention permet de retenir les nitrates à l'automne et au printemps lors des fortes précipitations. Cette capacité de rétention de l'eau varie beaucoup d'un sol argileux (20-30 kg/ha), à un sol sableux (5-20 kg/ha), ce dernier étant beaucoup plus susceptible au lessivage (Steen, 1989; Bergstrom et al., 1991). La quantité de matière organique est primordiale comme source d'énergie pour la biomasse intervenant dans le cycle de l'azote (fixation, minéralisation et nitrification), ainsi que la présence de particules argileuses

agissent comme sites d'adsorption de l'ammonium.

Le type de culture influence beaucoup par sa demande en azote (exportation d'azote), sa période de croissance, son développement racinaire et par ses résidus après la récolte. Les cultures ayant une forte demande en azote diminueront les risques de lessivage à l'automne et au printemps. La présence d'un couvert végétal (culture combinée), suite à la récolte, contribue à maximiser l'utilisation des nitrates durant les périodes de précipitations abondantes. Les racines des plantes modifient la structure du sol (perméabilité, aération) et la distribution de la biomasse associée. Les nitrates sont conservés dans la zone racinaire. Au-delà de cette zone, seule la capillarité du sol peut réduire le lessivage (Steenvoorden, 1989). Les résidus des récoltes constituent un apport en azote qui pourra ultérieurement être lessivé.

La fertilisation des sols est un facteur très important sur lequel, comme pour le choix des cultures, l'homme a un pouvoir de décision. La quantité et le type de fertilisant utilisé (organique et inorganique), le moment et la méthode d'application ont un rôle majeur à jouer. Une fertilisation organique améliore la structure des sols avec une meilleure stabilité des agrégats et un taux d'infiltration supérieur (Ekwue, 1991). Une étude a montré que le lessivage suite à un épandage de fertilisant inorganique seul est supérieur à celui suivant une fertilisation organique et inorganique (Borg et al., 1990).

Des pratiques culturales optimales doivent donc adapter l'apport en azote en fonction des besoins des plantes, améliorer les méthodes d'application et le type de fertilisant, et optimiser les dates d'épandage.

## CHAPITRE 3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 3.1 TRAVAUX DE TERRAIN

#### 3.1.1 LOCALISATION DES SITES

Des trois sites étudiés, deux se situent à St-Augustin-de-Desmaures. Cette municipalité est située à environ 25 kilomètres au sud-ouest de la ville de Québec. Une des parcelles, (site 1: 52 m x 18 m), forme la limite inférieure d'une terrasse alluviale dont la pente varie entre 2 % à 5 %. L'autre parcelle, (site 2: 36 m x 18 m), est située au pied de cette terrasse, presque à l'aplomb du site 1. Les deux sites sont en culture de maïs sucré.

Le troisième site est situé sur les terres de la ferme expérimentale du MAPAQ de St-Lambert de Lévis, à environ 60 km au sud de la ville de Québec. Les expérimentations ont été menées sur la parcelle 12, sous culture de maïs sucré. Cette parcelle est fertilisée uniquement avec du lisier de porc depuis plus de 10 ans. Sa superficie totale est d'environ 1275 m<sup>2</sup> et comprend 15 sous-parcelles où sont appliquées, aléatoirement, 5 doses différentes de lisier (3 replicats). La Figure 3.1 localise géographiquement St-Augustin et St-Lambert.

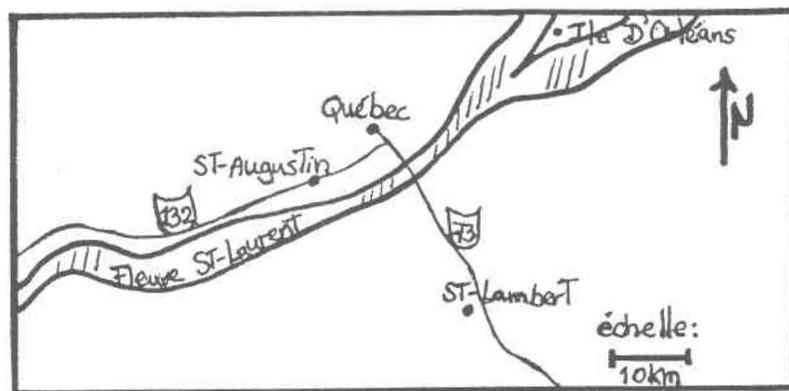


Figure 3.1 Localisation géographique de St-Augustin et St-Lambert

### 3.1.2 MÉTHODOLOGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

Deux types d'échantillonnages ont été utilisés: échantillonnage d'eau interstitielle et échantillonnage de sol. Les échantillons d'eau, prélevés uniquement sur les sites 1 et 2 de St-Augustin, proviennent de lysimètres sous tension en céramique poreuse (Hoskin Soil Moisture Model #1920).

La Figure 3.2 illustre graphiquement les sites 1 et 2 de St-Augustin. Sur le site 1, 12 stations de lysimètres à 2 ou 3 profondeurs (50 cm, 100 cm et 150 cm) ont été installées en décembre 1985 par le Ministère de l'Environnement du Québec. L'espacement entre les stations est de 3 à 6 m dans une direction et de 15 m dans l'autre. Sur ce site, 6 stations représentaient la fertilisation inorganique et organique (FIO), et les 6 autres le traitement inorganique seulement (FI).

Sur le site 2, 12 stations de lysimètres à quatre profondeurs: 30 cm, 55 cm, 80 cm, 105 cm ont été mises en place en mai 1991 par l'INRS-EAU. Les stations sont réparties sur 3 rangées distantes de 4.5 m l'une de l'autre et espacées de 8.5 m. Le partage entre les deux traitements est le même qu'au site 1, soit 6 stations par traitement.

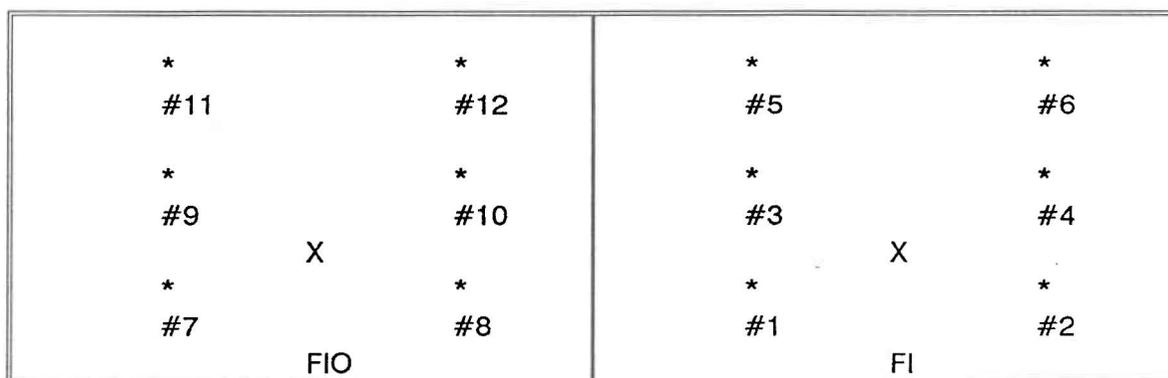


Figure 3.2 Schéma des sites expérimentaux de St-Augustin  
 Légende: \* localisation des stations de lysimètres  
 X point aléatoire d'échantillonnage  
 Dimensions: 52 m x 18 m (site 1)  
 36 m x 18 m (site 2)

Etant donné que ces échantillons d'eau étaient aussi utilisés pour l'analyse des pesticides, ils étaient récupérés dans des bouteilles de verre préalablement rincées à l'eau millipore (3 fois), suivi d'un rinçage à l'acétone et d'un autre à l'hexane. Pour les deux sites, la fréquence d'échantillonnage était de 14 jours. Une mise sous tension d'environ 60 Kpa était appliquée durant 24 heures avant de récupérer l'échantillon d'eau interstitielle. Des échantillons de sol étaient aussi prélevés à 3 profondeurs (20 cm, 50 cm, 90 cm) sur chacune des deux sous-parcelles des deux sites en un point choisi aléatoirement. Les échantillons de sol étaient prélevés à l'aide d'une tarière, enfermés dans des sacs de plastique et placés, avec les échantillons d'eau, dans une glacière les préservant de la chaleur extérieure.

Le troisième site, de St-Lambert de Lévis, est divisé en 15 sous-parcelles, soit 3 réplicats de 5 sous-parcelles ayant reçu 0, 30, 60, 90 et 120 m<sup>3</sup>/ha de lisier contenant environ 2.57 kg/m<sup>3</sup> d'azote. Pour chaque réplicat, les doses étaient aléatoirement réparties sur les sous-parcelles. Pour chacune de ces sous-parcelles, un point d'échantillonnage était aléatoirement choisi pour le prélèvement de 3 échantillons de sol à 20 cm, 50 cm et 90 cm de profondeur. La fréquence d'échantillonnage de ce site était aussi de 14 jours. La Figure 3.3 illustre la disposition des sous-parcelles de ce site.

|             | Dose: 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|---------|---|---|---|---|
| réplicat: 1 | X       | X | X | X | X |
| 2           | X       | X | X | X | X |
| 3           | X       | X | X | X | X |

Figure 3.3 Schéma du site expérimental de St-Lambert  
Légende: X point aléatoire d'échantillonnage du sol  
Dimensions: 31 m x 51 m

La campagne d'échantillonnage a débuté en juin 1991 et s'est poursuivie jusqu'au mois de novembre 1991. Le Tableau 3.1 présente pour chaque site le type (eau ou sol) et le nombre d'échantillonnage.

Tableau 3.1 Durée et nombre d'échantillonnages pour les sites de St-Augustin et de St-Lambert

|        | EAU | SOL | DATES                        |
|--------|-----|-----|------------------------------|
| SITE 1 | 12  | 11  | du 10 juin<br>au 28 octobre  |
| SITE 2 | 9   | 11  | du 25 juin<br>au 28 octobre  |
| SITE 3 | 0   | 12  | du 03 juin<br>au 04 novembre |

### 3.1.3 DESCRIPTIONS PÉDOLOGIQUES ET CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES

Le site 1 de St-Augustin est un sol peu fertile et légèrement pierreux correspondant à un loam sableux fin de la série St-Antoine. Ce sol du groupe podzol humo-ferrique orthique (Baril, 1974) est bien drainé et La pente varie entre 2 % et 5 % et le substratum, situé à environ 1.6 m en moyenne, se compose d'un schiste argileux et gréseux friable (Clark et al., 1973).

A partir d'une étude de Lafrance et al.(1992), portant sur la variabilité spatiale de la matière organique et des travaux de Jobidon (1990), le Tableau 3.2 présente les principaux paramètres physiques du sol du site 1.

Tableau 3.2 Paramètres physiques du site 1

| PROFONDEUR (cm)                    | 10 cm    | 45 cm    | 90 cm    |
|------------------------------------|----------|----------|----------|
| Mat. Org. (%)                      | 4.04     | 2.82     | 1.84     |
| Ratio N/C                          | 0.11     | 0.15     | 0.24     |
| Porosité (%)                       | 44.7     | 46.0     | 44.0     |
| Perméabilité (cm s <sup>-1</sup> ) | 0.33E-06 | 0.62E-06 | 0.76E-06 |
| Densité app. (g cm <sup>-3</sup> ) | 1.5      | 1.41     | 1.5      |
| Sable (%)                          | 53.3     | 54.05    | 66.0     |
| Limon (%)                          | 24.7     | 25.1     | 19.5     |
| Argile (%)                         | 22.1     | 20.25    | 14.5     |

Le sol du site 2 de St-Augustin est un loam argileux non pierreux et sa pente est très faible. Ce sol appartient à la série de Platon et au groupe de gleysol lithique (Baril, 1974) et repose sur un schiste argileux et gréseux friable (Clark et al., 1973). Le drainage est mauvais avec une perméabilité et une porosité plutôt faibles. La nappe phréatique est basse sauf en période de précipitations abondantes (printemps et automne). Le Tableau 3.3 présente les valeurs de perméabilité et de porosité pour ce site (Frenette, 1991).

Tableau 3.3 Paramètres physiques du site 2

| PROFONDEUR (cm)                    | 35 cm    | 65 cm    | 95 cm    |
|------------------------------------|----------|----------|----------|
| Porosité (%)                       | 53.05    | 48.07    | 46.64    |
| Perméabilité (m s <sup>-1</sup> )  | 1.31E-03 | 1.24E-04 | 5.11E-04 |
| Densité app. (g cm <sup>-3</sup> ) | 1.31     | 1.49     | 1.54     |
| Sable (%)                          | 5        | 5        | 10       |
| Limon (%)                          | 70       | 70       | 65       |
| Argile (%)                         | 5        | 5        | 10       |

Le site 3 de St-Lambert-de-Lévis se compose d'un loam hétérogène pierreux, sableux à limoneux, appartenant au groupe de Neubois (Pageau, 1975). A plus grande profondeur, le sol devient plus homogène et plus argileux. Le drainage est mauvais et la pente faible. La composition du sol en surface (de 10 cm à 20 cm) est de 25 % de sable, 45 % de limon et 30 % d'argile. Cette proportion importante d'argile à faible profondeur entraîne l'apparition de fentes de dessiccation durant les périodes de faibles précipitations.

### 3.1.4 PRATIQUES CULTURALES

Le site 1 de St-Augustin est en culture de maïs sucré depuis plusieurs années et reçoit des applications de pesticides, d'herbicides et d'engrais minéral. Au printemps, la préparation du sol se fait à l'aide d'une petite herse à disques et à l'automne le sol est remanié, sur une profondeur de 7 à 13 cm, par un rotoculteur. L'épandage du lisier a été fait en surface entre les rangs. Le Tableau 3.4 présente le calendrier des différentes activités et les quantités appliquées.

Tableau 3.4 Calendrier des pratiques culturales au site 1 en 1991

| DATES      | ACTIVITÉS   | QUANTITÉS                             |
|------------|---|---------------------------------------|
| 7 juin     | herse à disques   |                                       |
| 10 juin    | engrais 8-16-16<br>dyfonate (fonofos)<br>semis maïs sucré | 500 kg/ha<br>(40 kg/ha N)<br>10 kg/ha |
| 27 juin    | atrazine 9-0-90 %   | 1.8 kg comm/ha                        |
| 22 juillet | engrais 34-0-0  | 100 kg/ha<br>(34 kg/ha N)             |
| 6 août     | carbofuran (furadan)                                      | 1.1 L comm/ha                         |
| 12 août    | lisier 2.57 kg/m <sup>3</sup> N                           | 29 m <sup>3</sup> /ha<br>(75 kg/ha N) |

Le site 2 était en jachère complète depuis plusieurs années. La préparation du sol a débuté avec l'épandage d'un désherbant et d'un labour profond (30 cm) afin de détruire toutes les mauvaises herbes qui avaient poussées pendant les années de jachère. L'épandage du lisier s'effectue en surface entre les rangs. Le Tableau 3.5 présente le calendrier des différentes activités et les quantités appliquées.

Tableau 3.5 Calendrier des pratiques culturales au site 2 en 1991

| DATES      | ACTIVITÉS   | QUANTITÉS                                  |
|------------|---|--|
| 15 mai     | roundup (glyphosate)<br>labour                            | 7.0 L comm/ha                              |
| 11 mai     | engrais 8-16-16<br>dyfonate (fonofos)<br>semis maïs sucré | 500 kg/ha<br>(40 kg/ha N)<br>10 kg comm/ha |
| 27 juin    | atrazine 9-0-90 %   | 1.8 kg comm/ha                             |
| 22 juillet | engrais 34-0-0  | 100 kg/ha<br>(34 kg/ha N)                  |
| 6 août     | carbofuran (furadan)                                      | 1.1 L comm/ha                              |
| 12 août    | lisier 2.57 kg/m <sup>3</sup> N                           | 26 m <sup>3</sup> /ha<br>(67 kg/ha N)      |

Pour le site 3 de St-Lambert, on retrouve 15 parcelles dont 3 replicats. Au printemps le sol est préparé à l'aide d'un rotoculteur. L'épandage du lisier s'effectue en surface entre les rangs à l'aide d'un petit épandeur de 1 m<sup>3</sup> de volume. Les doses de 0,30, 60, 90 et 120 m<sup>3</sup>/ha sont appliquées par tranche de 30 m<sup>3</sup>/ha. Le Tableau 3.6 présente le calendrier des différentes activités et les quantités appliquées.

Tableau 3.6 Calendrier des pratiques culturales au site 3 en 1991

| DATES        | ACTIVITÉS                                      | QUANTITÉS  |
|--------------|--|--|
| 16 mai       | semis maïs                                     |  |
| 5 juin       | aatrex 90 w                                    | 1 kg/ha  |
| 13 juin      | aatrex 90 w<br>lisier 2.57 kg/m <sup>3</sup> N | 2.5 kg/ha<br>30 m <sup>3</sup> /ha<br>(77 kg/ha N) |
| 14 juin      | lisier 2.57 kg/m <sup>3</sup> N                | 30 m <sup>3</sup> /ha<br>(77 kg/ha N)              |
| 17 juin      | idem   | idem   |
| 18 juin      | idem   | idem   |
| 23 septembre | récolte  |  |

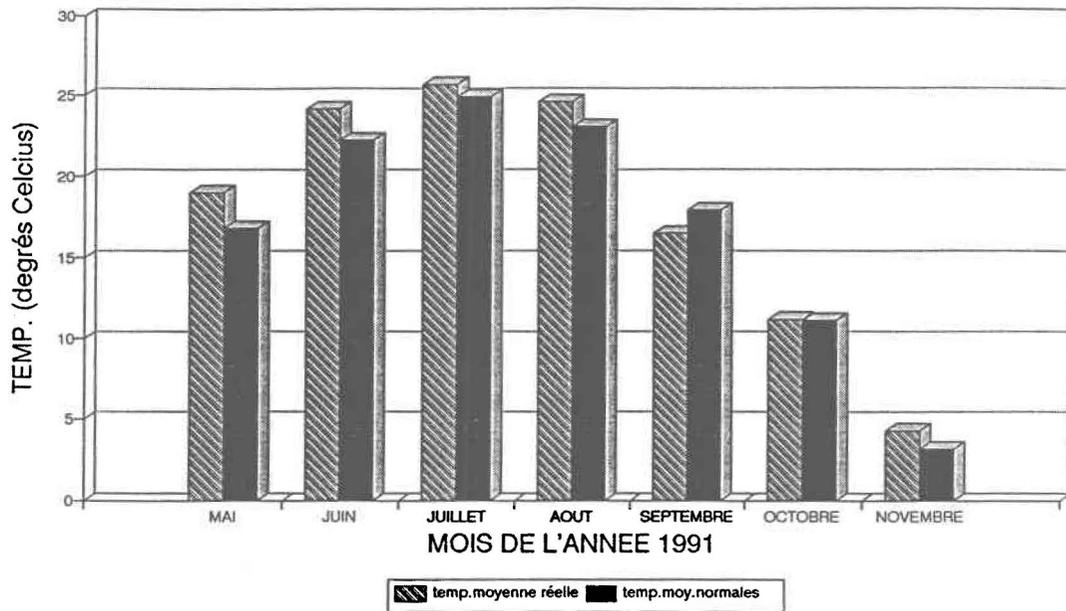
### 3.1.5 CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES

La campagne d'échantillonnage s'est déroulée sur une période de 7 mois, soit de mai à novembre 1991. En moyenne, la saison végétative 1991 a été chaude et sèche par rapport aux températures moyennes normales et aux précipitations normales. La Figure 3.4 montre graphiquement les températures et les précipitations réelles et normales du mois de mai au mois de novembre 1991.

### 3.2 ANALYSES DE LABORATOIRE

Les échantillons d'eau ou de sol étaient conservés dans une glacière, les isolant de la chaleur extérieure, à partir du prélèvement jusqu'au laboratoire avec un délai d'une durée maximale de 3 heures.

TEMPÉRATURES  
MOYENNES MENSUELLES REELLES ET NORMALES



PRECIPITATIONS  
MENSUELLES REELLES ET NORMALES

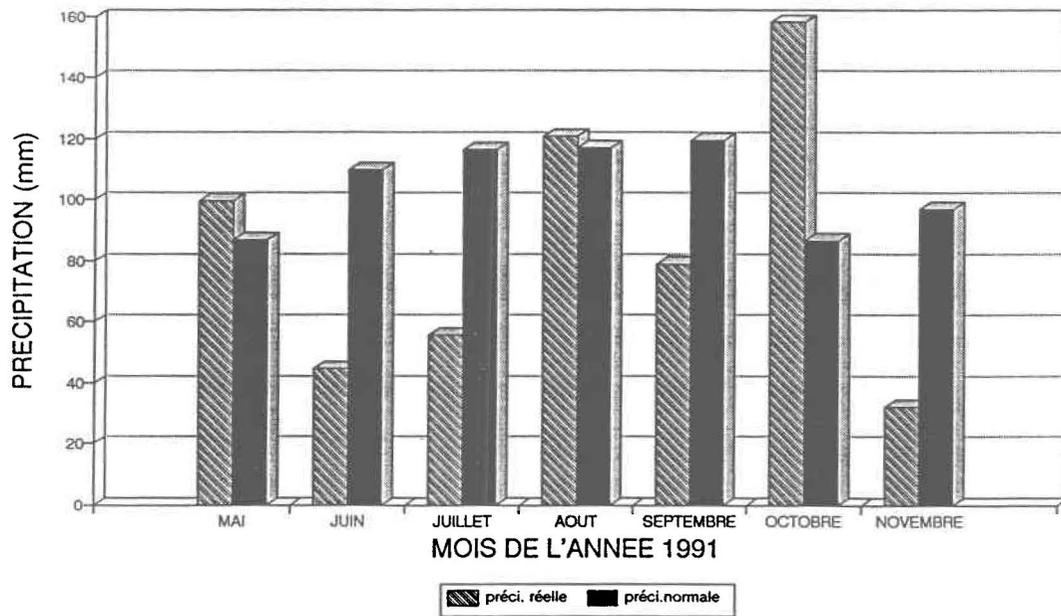


Figure 3.4 Températures et précipitations réelles et normales pour la période de mai à novembre 1991 (Source: Env. Canada)

### 3.2.1 MÉTHODE D'EXTRACTION POUR LES SOLS

Les échantillons de sol sont séchés à l'air libre à la température de la pièce pendant 24 heures. Ensuite, le sol est homogénéisé et passé sur le tamis 2 mm. 5 grammes sont introduits dans un erlenmeyer avec 25 ml de KCl 2 N. On agite le mélange pendant 30 minutes, puis on filtre la solution sur des filtres ayant une rétention de 8 microns (Watman no.40). Le filtrat est conservé au réfrigérateur (4 degrés Celcius) jusqu'au moment de l'analyse chimique. Un volume d'environ 10 ml, destiné au dosage de l'ammonium, est immédiatement acidifié avec 0.2 %  $H_2SO_4$ . Ceci permet un délai maximum de conservation de 28 jours avant l'analyse.

### 3.2.2 DOSAGE DES NITRITES/NITRATES

L'analyse des nitrates s'effectuait dans les plus brefs délais. Pour les échantillons d'eau interstitielle le dosage avait lieu le jour même du prélèvement, et pour les échantillons de sol tout de suite après l'extraction. Dans la pratique, il est recommandé de ne pas excéder 48 heures. Les échantillons d'eau sont filtrés (diamètre: 0.45 micron) pour supprimer toute turbidité.

Les concentrations en nitrates sont déterminées à l'aide d'un auto-analyseur. Le principe de la méthode repose sur la transformation des nitrates en nitrites suite au passage de l'échantillon d'eau sur une colonne réductrice de cadmium. Par la suite, les nitrites réagissent avec la sulfanilamide en milieu acide pour former un composé diazo. Ce composé réagit avec du dihydrochlorure N-1-naphthylethylenediamine pour former une solution de couleur pourpre. C'est cette couleur qui est quantifiée par colorimétrie (Technicon Auto-Analyzer II, industrial method no.100-700w/b). La limite de détection de l'appareil est de 0.04 mg/ L N avec un coefficient de variation de 0.31 % à 1 mg/L.

### 3.2.3 DOSAGE DE L'AMMONIUM

Grâce à l'acidification des échantillons avec 0.2 %  $H_2SO_4$  les échantillons pouvaient être conservés pour une période maximale de 28 jours.

Suite à une filtration, les échantillons sont prêts pour l'analyse sur l'auto-analyseur. Les concentrations en ammonium  $NH_4^+$  sont déterminées par colorimétrie se basant sur la réaction de Berthelot. L'ammonium entre en contact avec les solutions de phénoxyde de sodium et d'hypochlorite de sodium, et forme un composé de couleur bleu associé à l'indophénol. Le dosage de l'ammonium consiste alors en une quantification colorimétrique.

Pour les échantillons de sol, nous avons utilisé le module de l'auto-analyseur pour les concentrations de 0 à 10 mg/L N (Technicon Auto-Analyzer II, industrial method no.98-70w). La limite de détection est de 0.2 mg/L N et le coefficient de variation à 5 mg/L est de 0.25 %. Pour les échantillons d'eau interstitielle, nous avons utilisé le module pour les concentrations de 0 à 0.4 mg/L N (Technicon Auto-Analyzer II, industrial method no.154-71w/b). La limite de détection est de 0.0028 mg/L N et le coefficient de variation à 0.008 mg/L est de 0.31 %.

Les résultats pour l'ammonium ne sont pas traités dans cette étude étant données leurs valeurs, en général, très faibles et peu variables; cependant, on peut les retrouver en annexes (A.1.3, A.1.4, A.1.7, A.1.8).

### 3.3 ANALYSE DE VARIANCE AVEC LE LOGICIEL SAS

Le logiciel de statistiques SAS (Freund et al., 1986) a été utilisé pour réaliser différents tests sur les résultats des concentrations mesurées au site 3 de St-Lambert. Une analyse de variance a été réalisée avec le design split-plot. Cette configuration permet de considérer plusieurs facteurs (replicats, doses, profondeurs) en regard des concentrations mesurées pour un temps donné. Il permet de tester différentes relations entre les facteurs concernés. Nous avons vérifié les relations entre les replicats, les doses, les profondeurs. Ensuite, nous avons groupé les facteurs pour analyser les relations entre les replicats et les doses, les replicats et les profondeurs, les doses et les profondeurs, et finalement les replicats, les doses et les profondeurs.

Nous avons aussi utilisé le design en blocs randomisés à régressions multiples afin de raffiner nos tests. Ce design comprend les tests de Duncan et de Tukey qui comparent un à un les différents niveaux des facteurs afin de préciser le résultat de l'analyse de variance. Par exemple, la dose est un facteur et les différentes quantités (0, 30, 60, 90 et 120 m<sup>3</sup>/ha) sont les niveaux.

Nous avons fixé à 5 % le niveau de signification des tests. Pour une valeur supérieure à 5 % nous acceptons l'hypothèse de départ. Ceci signifie qu'on ne peut affirmer que les facteurs sont significativement différents (à 5 %). Pour une valeur inférieure à 5 % nous rejetons l'hypothèse de départ et les facteurs sont considérés significativement différents (à 5 %).

## CHAPITRE 4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

### **4.1 CONCENTRATIONS EN NITRATES DANS L'EAU A ST-AUGUSTIN**

Pendant toute la campagne d'échantillonnage et pour les trois sites, le dosage de l'ammonium a été fait. Etant donné que les concentrations observées sont très faibles et que peu de variation existe pendant la campagne, les résultats obtenus n'ont pas été analysés dans cette étude. Cependant, on peut les retrouver en annexe (A.1.3, A.1.4, A.1.7, A.1.8).

La médiane a été choisie pour représenter les valeurs obtenues à chaque échantillonnage. La variabilité spatiale des concentrations en nitrates dans l'eau interstitielle étant importante pour certains échantillonnages, la médiane, enlevant du poids aux valeurs extrêmes (Dixon, 1986), a été retenue comme valeur représentant le mieux l'ensemble des résultats. Les graphiques des résultats présentent en ordonné positive les concentrations de la fertilisation inorganique (FI) et en ordonnée négative les concentrations de la fertilisation inorganique et organique (FIO), afin de faciliter la comparaison graphique. Dû aux périodes de faibles précipitations, il fut impossible d'obtenir une quantité d'eau suffisante lors de certains échantillonnages; quelques discontinuités existent donc sur les graphiques de résultats.

#### **4.1.1 $[\text{NO}_3^-]_{\text{eau}}$ AU SITE 1**

Les résultats des 12 échantillonnages effectués entre le 11 juin et le 12 novembre 1991 sont présentés en annexe (A.1.5).

A la Figure 4.1, on retrouve l'évolution temporelle de la valeur médiane des concentrations en nitrates de l'eau interstitielle pour le site 1 aux profondeurs de 50 cm et de 100 cm. L'augmentation des concentrations en nitrates, suite aux

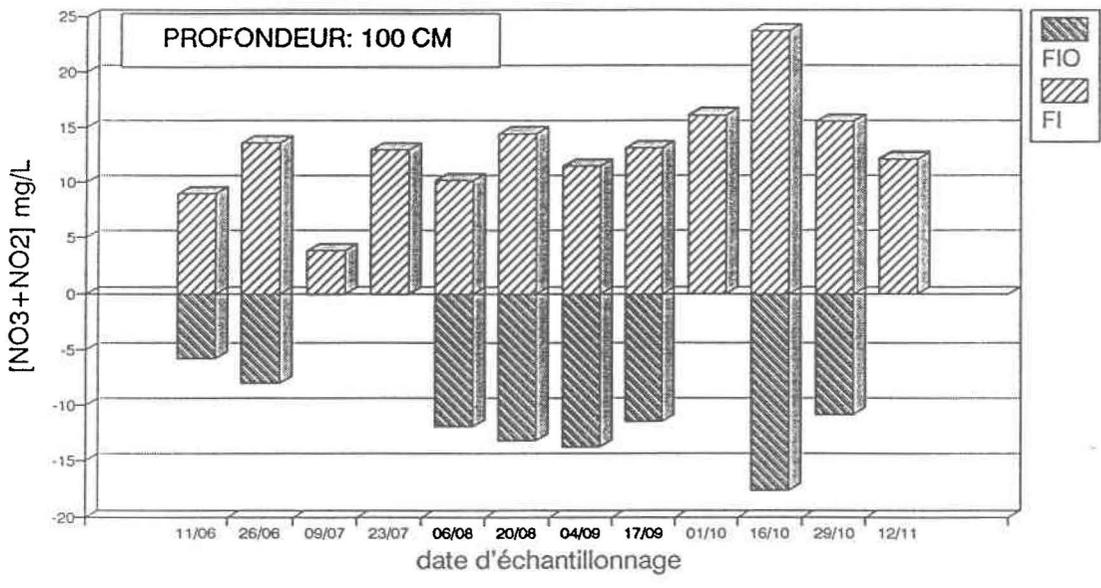
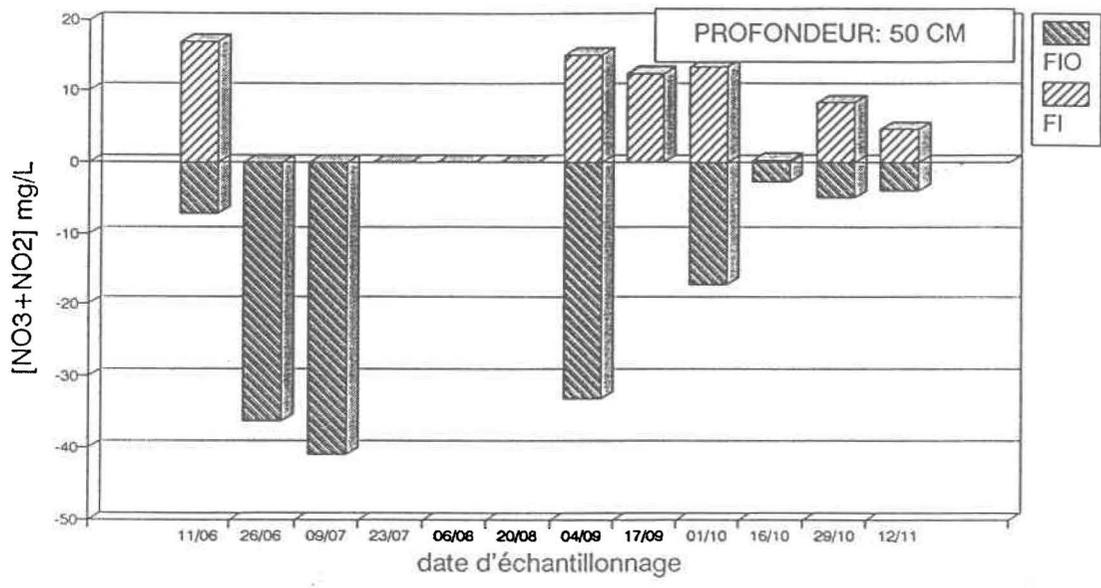


Figure 4.1 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau interstitielle à 50 cm et 100 cm de profondeur au site 1

épandages du 10 juin, du 22 juillet (fertilisant inorganique) et du 12 août (fertilisant organique), montre un impact rapide des fertilisations sur la qualité de l'eau. Les faibles précipitations des mois de juin, août et septembre sont la cause des absences de résultat à la profondeur de 50 cm. Pour septembre, octobre et novembre, on observe une diminution des concentrations en nitrates pour les deux traitements.

A 100 cm de profondeur, les concentrations sont plus faibles et les variations plus graduelles. On remarque globalement peu de différences significatives entre les concentrations des deux traitements. Pour certains échantillonnages les concentrations en nitrates sont même plus faibles pour le traitement organique et inorganique que pour le traitement inorganique seul. La concentration la plus importante pour les deux traitements se retrouve lors de l'échantillonnage du 16 octobre, avec 23.62 mg/L et 17.64 mg/L respectivement pour la fertilisation inorganique et la fertilisation organique et inorganique. A cette époque, l'assimilation des nitrates par les plantes est presque nulle puisque le maïs arrive à maturité. Le lessivage des nitrates augmente considérablement étant donné l'augmentation du volume d'eau de drainage due aux fortes précipitations automnales.

La Figure 4.2 présente les concentrations en nitrates pour la profondeur de 150 cm. Les contraintes de terrain (dispositif des lysimètres) ne nous ont pas permis de faire le suivi des deux traitements. Comme pour la profondeur de 100 cm, les variations des concentrations à 150 cm sont plus graduelles et les concentrations sont plus faibles. En effet, le maximum pour les 12 échantillonnages est de 17.89 mg/L et est atteint le 29 octobre. Dans l'ensemble, nous constatons une diminution avec la profondeur des concentrations de nitrates mesurées dans l'eau, des variations plus graduelles, et un décalage de plus en plus important des concentrations maximales.

Malgré l'écart dans le temps entre l'application des fertilisations

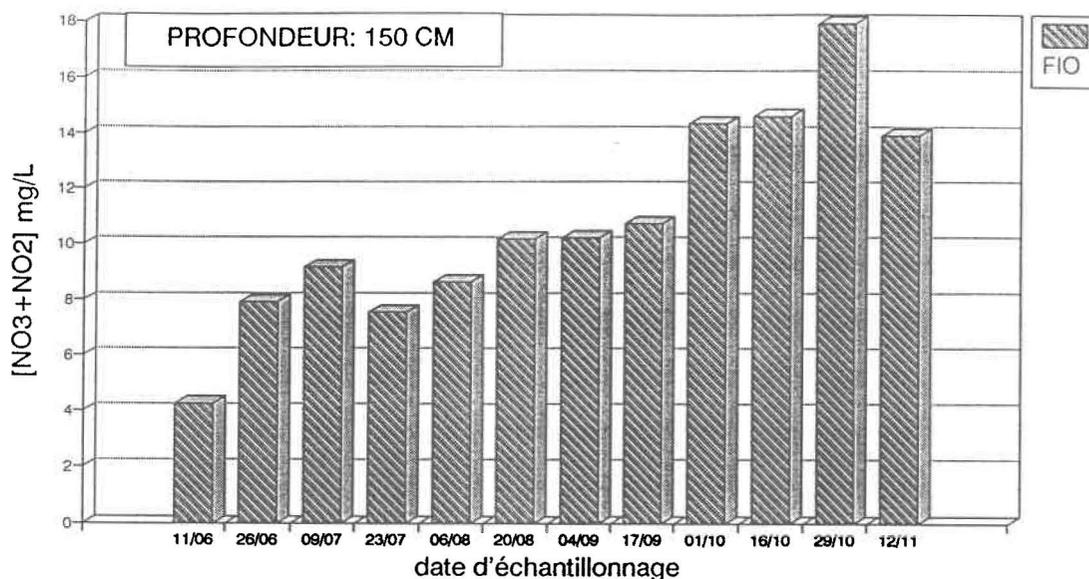


Figure 4.2 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau interstitielle à 150 cm de profondeur au site 1

inorganiques (10 juin et 22 juillet) et organique (12 août), la diminution des concentrations à 50 cm durant l'automne est simultanée pour les deux parcelles. A la profondeur de 100 cm, certaines concentrations (médianes) pour la parcelle avec lisier sont inférieures à celles provenant de la parcelle qui n'a reçu que le traitement inorganique. On observe un décalage temporel entre les concentrations maximales des profondeurs 100 cm et 150 cm relié à la vitesse de lessivage des nitrates par l'eau. Cette vitesse peut ainsi être évaluée à 4 cm/jour. Si l'on admet que les nitrates ne s'adsorbent pas, elle représente aussi la vitesse d'écoulement de l'eau dans le sol. Le décalage observé est inversement proportionnel à l'intensité des précipitations et à la conductivité hydraulique du sol.

#### 4.1.2 $[\text{NO}_3]_{\text{eau}}$ AU SITE 2

Les résultats obtenus lors des 9 échantillonnages effectués entre le 23 juin et le 12 novembre 1991 sont présentés en annexe (A.1.6).

La Figure 4.3 illustre l'évolution temporelle des concentrations médianes en nitrates à 30 cm et 55 cm de profondeur. L'impact de l'apport d'engrais organique du 12 août (lisier) est rapide et important (430.66 mg/L). Suite à cette

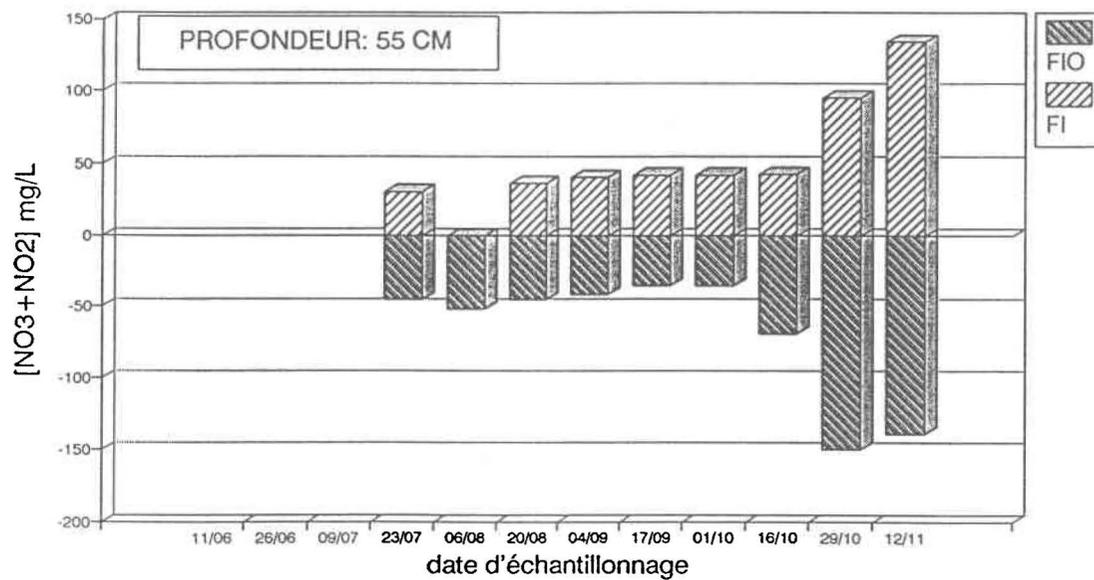
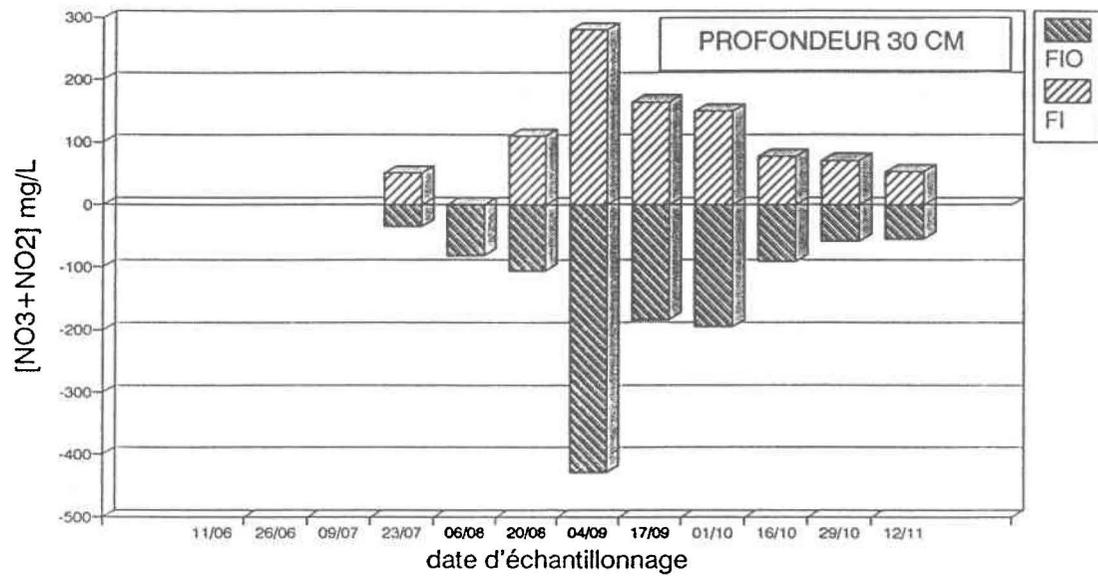


Figure 4.3 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau interstitielle à 30 cm et 55 cm de profondeur au site 2

augmentation, les concentrations en nitrates diminuent de la même façon pour les deux traitements. On observe que le maximum du traitement inorganique seul est simultané à celui du traitement organique et inorganique (échantillonnage du 4 septembre). Pourtant, les deux épandages de fertilisant inorganique remontent au 10 juin et au 22 juillet, tandis que l'épandage du lisier remonte au 12 août. Cette augmentation des concentrations en nitrates semble correspondre directement à la reprise des précipitations de septembre, et semble peu affectée par la dose d'épandage (FI: 74 kg/ha N et FIO: 149 kg/ha N). De plus, la diminution de la prise en charge de l'azote par le maïs à cette même époque rend les nitrates disponibles au lessivage.

A 55 cm, les concentrations sont moins élevées et l'impact de l'épandage de lisier, observable à 30 cm, n'est plus observé. Ce n'est qu'en octobre et novembre que l'on note une augmentation graduelle et simultanée des concentrations pour les deux traitements. Le maximum atteint par l'apport organique et inorganique est supérieur au traitement inorganique seul. Pour les deux dernières campagnes, les concentrations pour la fertilisation inorganique et organique sont de 150.28 mg/L et de 139.53 mg/L, et pour la fertilisation inorganique seule, elles sont de 94.99 mg/L et de 133.73 mg/L. Sauf pour l'échantillonnage du 29 octobre, les concentrations mesurées pour les deux traitements sont semblables. Pendant les mois d'août, septembre et octobre, les concentrations pour la fertilisation inorganique seule sont légèrement supérieures à celles de la fertilisation inorganique et organique. La situation est inverse pour les mois d'octobre et novembre alors que nous observons une augmentation des concentrations durant cette période correspondant à l'arrêt de croissance du maïs et aux précipitations abondantes stimulant les processus de minéralisation et de dénitrification, et causant un important lessivage.

La Figure 4.4 illustre les concentrations mesurées à 80 cm et 105 cm. A 80 cm, les concentrations sont plus faibles. On observe une légère augmentation

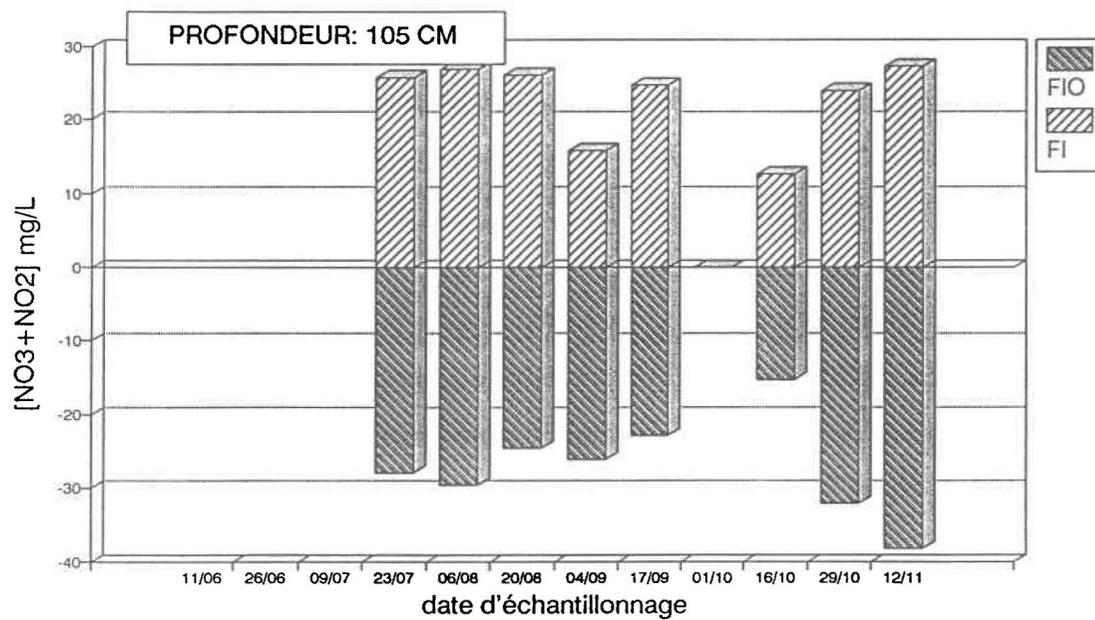
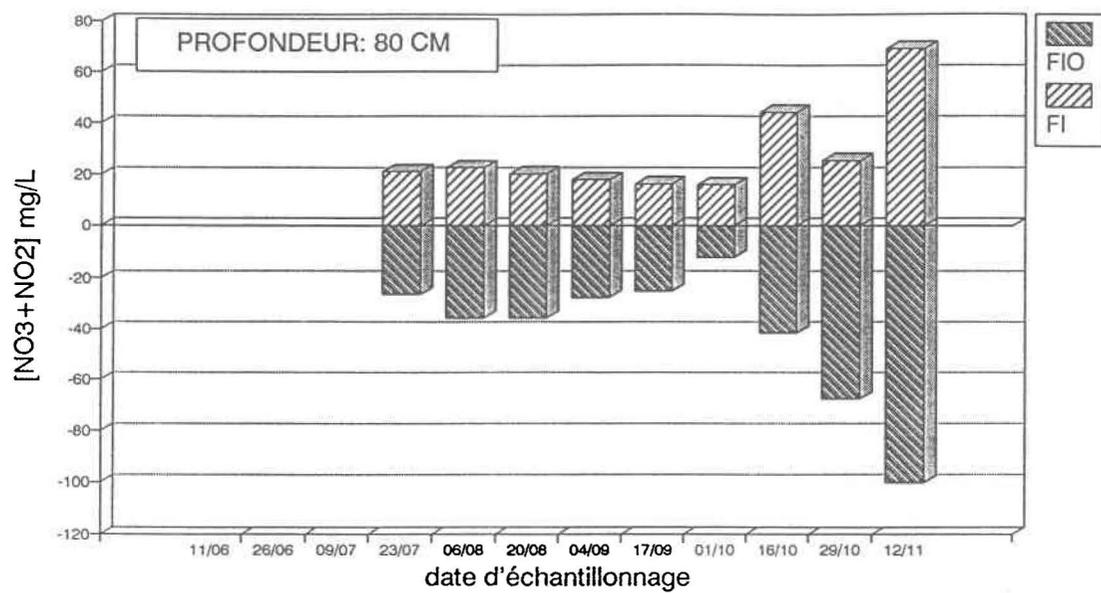


Figure 4.4 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau interstitielle à 80 cm et 105 cm de profondeur au site 2

des concentrations suite à la fertilisation organique du 12 août. Les épandages du 10 juin et du 22 juillet n'ont pas eu de répercussion rapide sur la qualité de l'eau. Les concentrations maximales se retrouvent en octobre et novembre avec 68.99 mg/L pour la fertilisation inorganique seule et 100.19 mg/L pour la fertilisation organique et inorganique, lors de l'échantillonnage du 12 novembre.

L'écart entre les concentrations des deux traitements est plus prononcé à 80 cm qu'à 55 cm avec une supériorité dans le cas de la fertilisation organique et inorganique, sauf pour les campagnes du 1 et 16 octobre. Un décalage est observé entre les concentrations maximales atteintes à 55 cm et 80 cm pour le traitement inorganique et organique. La vitesse d'infiltration correspondante peut ainsi être évaluée à 2 cm/jour.

A 105 cm, les concentrations sont plus faibles et moins variables. Les concentrations de la parcelle avec lisier sont en général légèrement plus importantes et l'on remarque une augmentation de cet écart en octobre et novembre. Le maximum mesuré est atteint lors de l'échantillonnage du 12 novembre, et les concentrations mesurées sont de 38.25 mg/L pour le traitement inorganique et organique et de 27.32 mg/L pour le traitement inorganique seul.

A faible profondeur, nous constatons une augmentation importante et rapide suivant les fertilisations, avec une différence importante entre les concentrations résultant des deux traitements. Cependant, à plus grande profondeur, l'augmentation est de moindre amplitude et décalée dans le temps. Cette baisse des concentrations est due à l'assimilation des nitrates par la biomasse du sol, par le sol lui-même et par le maïs dans les couches supérieures. A 30 cm et 55 cm de profondeur, l'écart entre les concentrations atteintes pour les deux traitements lors du dernier échantillonnage est faible. Ainsi, à 30 cm on note une supériorité de 9 % du traitement inorganique seul par rapport au traitement inorganique et organique. A 55 cm, cette supériorité est de 4 %. A 80 cm et 105 cm, les différences sont beaucoup plus importantes, avec respectivement 45 % et 40 %.

#### 4.1.3 COMPARAISONS DES $[\text{NO}_3]_{\text{eau}}$ AUX SITES 1 ET 2

Le climat, la culture et la région des travaux étant les mêmes pour les deux sites, seul le type de sol distingue ceux-ci. Les différences sont principalement situées au niveau la physique des sols (perméabilité, capacité au champ, infiltration), de sa composition (présence d'argile, de matière organique), et de la biomasse.

La Figure 4.5 montre l'évolution des concentrations médianes pour toutes les profondeurs de chaque site. On observe que les concentrations au site 2 sont plus élevées que celles au site 1. Ceci peut s'expliquer par le fait que le site 2 a été labouré avant le semis du maïs, suite à plusieurs années de jachère, rendant disponible beaucoup de matière organique (incorporation des résidus) et augmentant la concentration en oxygène dans le sol qui stimule la biomasse présente. Les microorganismes responsables des processus de fixation, minéralisation et nitrification sont plus efficaces dans un sol où la matière organique et l'oxygène sont abondants. Le site 1 est un loam sableux, contenant peu de matière organique, donc peu d'activité biologique. Par contre, le loam argileux du site 2 est fertile et riche en matière organique, les microorganismes y sont plus efficaces et les quantités de nitrates sont plus élevées.

En général, l'impact des traitements est davantage décalé, à grande profondeur, pour le site 2 que pour le site 1. Les vitesses apparentes étant de 4 cm/jour au site 1 et de 2 cm/jour au site 2. Les concentrations à 100 cm et 150 cm augmentent plus rapidement au site 1 qu'à 80 cm et 105 cm pour le site 2. La composition de loam argileux du site 2 favorise l'adsorption des ions ammonium, la faible perméabilité et la granulométrie plus fine de ce sol ralentit le lessivage des nitrates. Le site 1 plus perméable, favorise le lessivage des nitrates plus rapidement entraînés vers la nappe d'eau souterraine. De plus le faible contenu en argile ne favorise pas l'adsorption des ions ammonium.

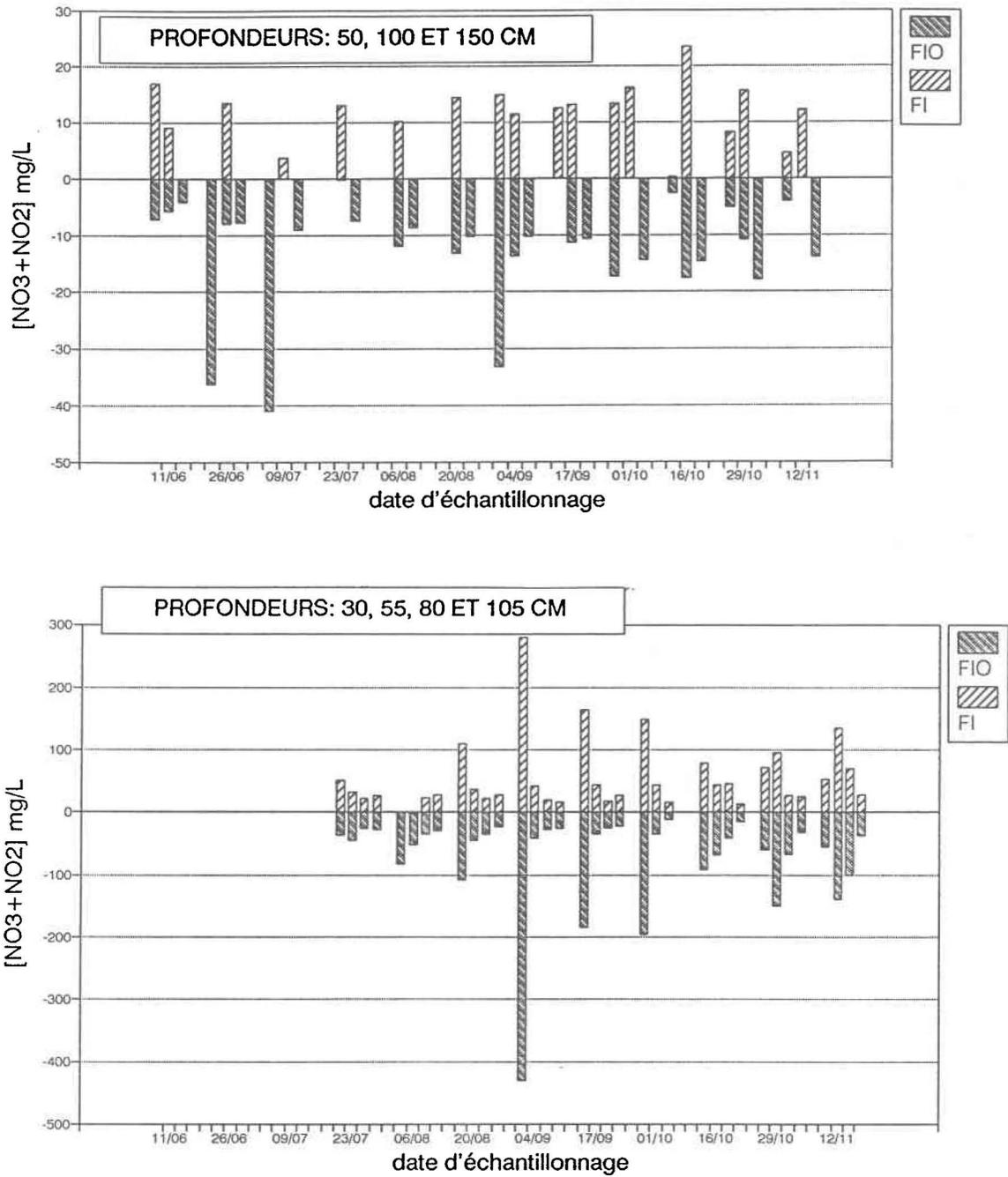


Figure 4.5 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau interstitielle à toutes les profondeurs pour les sites 1 et 2

A l'automne, avec l'arrêt de la croissance des plantes et les précipitations abondantes, les sites 1 et 2 présentent une augmentation importantes des concentrations en nitrates importante. De par ses plus grandes réserves et sa biomasse plus active, le site 2 montre des concentrations plus élevées que le site 1.

## 4.2 CONCENTRATIONS EN NITRATES DANS LE SOL A ST-AUGUSTIN

Sur chacune des deux sous-parcelles de chaque site, un échantillon de sol était prélevé à trois profondeurs (20 cm, 50 cm et 90 cm) en un point d'échantillonnage aléatoirement choisi. Les concentrations mesurées représentent la quantité de nitrates retrouvée dans 5 grammes de sol extrait avec 25 ml de KCl 2 N. A partir de la teneur moyenne en eau (eau de rétention et capillaire) et de la densité du sol de chacun des sites, les concentrations équivalentes (milligramme de nitrates par litre d'eau) ont été calculées. La teneur moyenne en eau a été évaluée comme étant le contenu en eau médian entre le contenu au point de flétrissement et la capacité au champ. La teneur en eau et la densité moyenne du sol retenues pour les calculs sont respectivement de 30 % et de 1.44 kg/dm<sup>3</sup>. Le calcul est le suivant:

$$([\text{mg}/5 \text{ g}] * \text{densité} * 1000) / \text{teneur moy. en eau} = [\text{mg}/\text{L}]$$

Les résultats des 11 échantillonnages effectués entre le 10 juin et le 28 octobre sont présentés en annexe. On y retrouve les concentrations en nitrates dans l'eau du sol calculées (A.1.1), et les concentrations en nitrates mesurées dans l'extractant (A.1.1.1).

### 4.2.1 $[\text{NO}_3]_{\text{sol}}$ AU SITE 1

La Figure 4.6 représente les concentrations en nitrates à 20 cm et à 50 cm de profondeur. On perçoit bien l'impact des fertilisations inorganiques du 10 juin et du 22 juillet sur les deux sous-parcelles et celui de la fertilisation organique (lisier) du 12 août. Cette influence diminue rapidement pendant la période de croissance du maïs, et lors du dernier échantillonnage, les concentrations en nitrates de la parcelle à fertilisation inorganique seule deviennent inférieures à celles de la parcelle à fertilisation inorganique et organique. A 50 cm, l'impact de la fertilisation inorganique du 10 juin est visible sur les deux parcelles, et est aussi

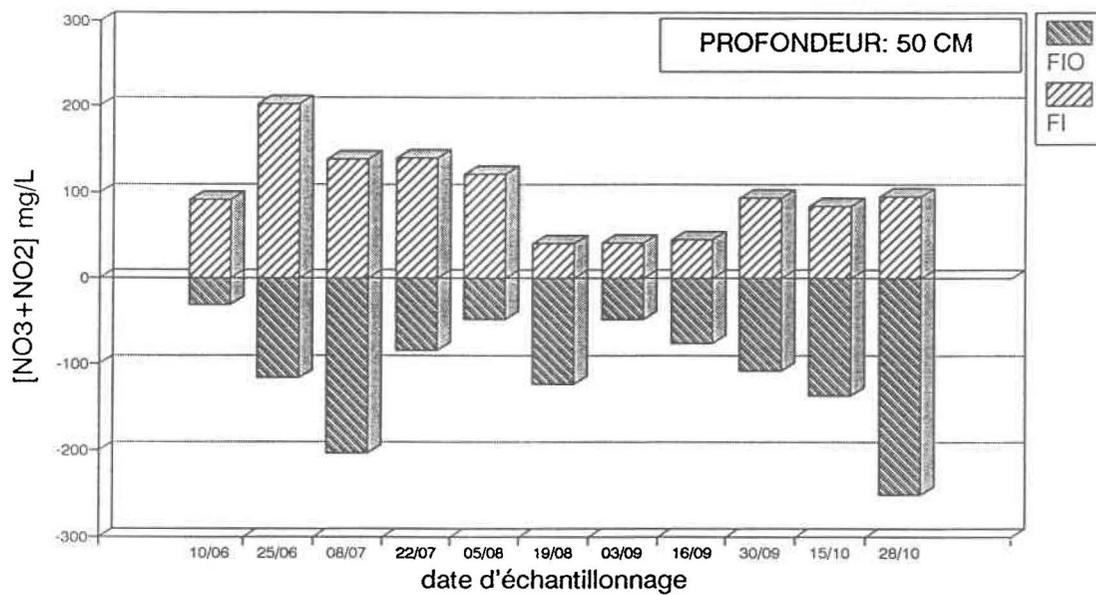
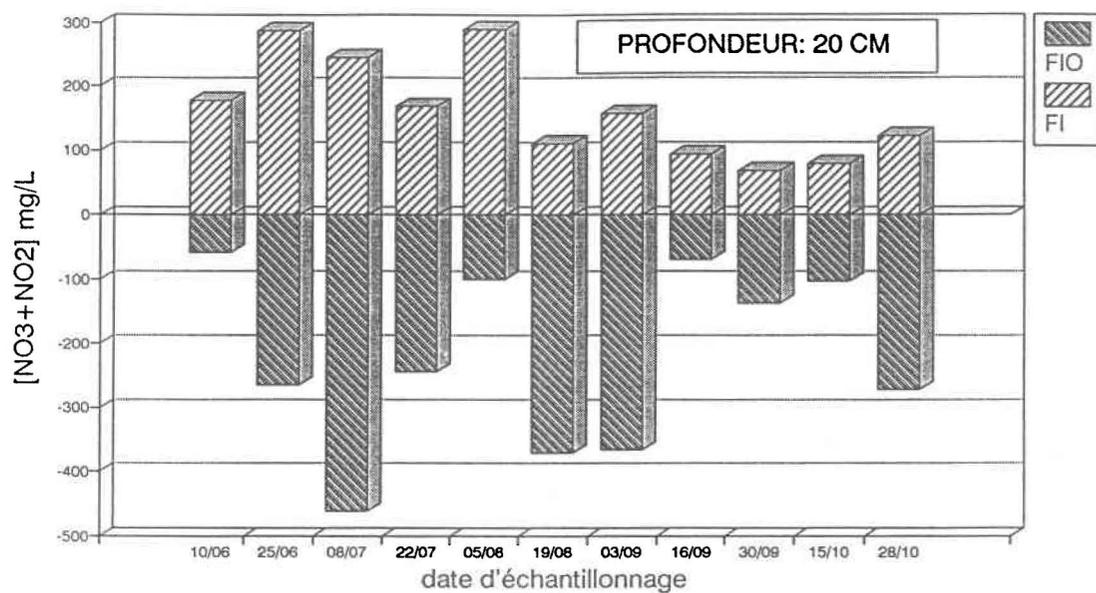


Figure 4.6 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau sol (échantillon de sol) à 20 cm et 50 cm de profondeur au site 1

rapide qu'à 20 cm. La fertilisation inorganique du 22 juillet ne montre pas d'augmentation significative. Les concentrations augmentent rapidement suite à l'apport de lisier du 12 août. Par la suite, les concentrations diminuent graduellement jusqu'aux mois de septembre et octobre, où elles augmentent de nouveau. Pour la parcelle ayant reçu la fertilisation inorganique seule, les concentrations varient peu à la suite de l'épandage du 22 juin. En automne, la concentration en nitrates pour la sous-parcelle à fertilisation inorganique seule est nettement inférieure à celle due à la fertilisation organique et inorganique avec 95.55 mg/L et 251.125 mg/L respectivement.

La Figure 4.7 montre les concentrations en nitrates à 90 cm. L'effet des fertilisations se fait sentir surtout sur la parcelle n'ayant reçu que le traitement inorganique. Par la suite, les concentrations diminuent rapidement et restent inférieures à 100 mg/L jusqu'au mois d'octobre où elles augmentent de 25.72

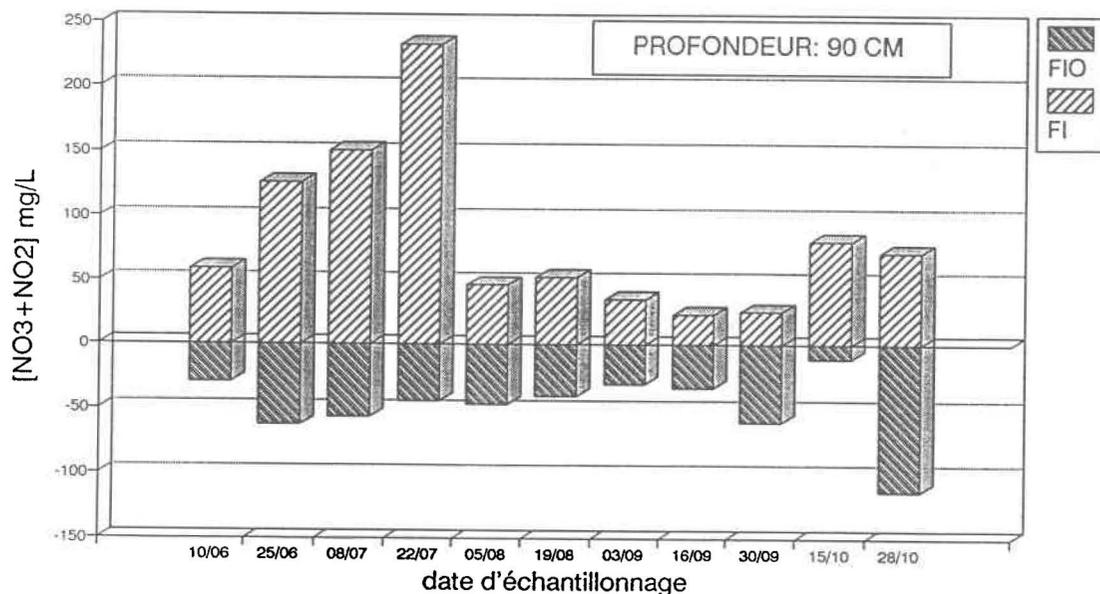


Figure 4.7 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau du sol (échantillon de sol) à 90 cm de profondeur au site 1

mg/L à 80.85 mg/L. Sur l'autre parcelle, les concentrations varient très peu sauf en octobre où l'on observe une augmentation de 60.02 mg/L à 113.92 mg/L pour la fertilisation organique et inorganique. Pour les mois d'août et septembre, l'écart entre les concentrations pour les deux traitements est plus faible qu'aux profondeurs précédentes. Ceci suppose qu'à 90 cm l'apport supplémentaire de lisier a peu d'impact sur la concentration en nitrates du sol pendant la période de croissance du maïs et de faibles précipitations.

Dans l'ensemble, l'épandage du lisier a un effet marqué et rapide à faible profondeur. Par contre, les fertilisations inorganiques ont un impact rapide, observable jusqu'à 90 cm. En automne, la fertilisation organique semble avoir davantage d'impact avec des concentrations supérieures à l'autre traitement. Ceci peut s'expliquer par une utilisation préférentielle de l'azote minéral, directement assimilable, pendant la période de croissance du maïs plutôt que de l'azote organique provenant du lisier, pour lequel les conditions de température élevée et de faibles précipitations n'en favorisent pas la minéralisation. Aussi, l'épandage du lisier a été fait 3 semaines après la dernière fertilisation inorganique. En automne, les conditions climatiques viennent favoriser la minéralisation de l'azote organique du lisier et son lessivage.

#### 4.2.2 $[\text{NO}_3^-]_{\text{sol}}$ AU SITE 2

La Figure 4.8 illustre les concentrations à 20 cm et 50 cm de profondeur.

A 20 cm, les fertilisations inorganiques du 10 juin et du 22 juillet, et organique du 12 août ont augmenté les concentrations dans le sol. L'impact des fertilisations sur les deux sous-parcelles est observable jusqu'au mois d'octobre. L'écart entre les concentrations résultant des deux traitements est faible durant l'été (échantillonnages du 3 et 16 septembre) mais augmentent en automne

mg/L à 80.85 mg/L. Sur l'autre parcelle, les concentrations varient très peu sauf en octobre où l'on observe une augmentation de 60.02 mg/L à 113.92 mg/L pour la fertilisation organique et inorganique. Pour les mois d'août et septembre, l'écart entre les concentrations pour les deux traitements est plus faible qu'aux profondeurs précédentes. Ceci suppose qu'à 90 cm l'apport supplémentaire de lisier a peu d'impact sur la concentration en nitrates du sol pendant la période de croissance du maïs et de faibles précipitations.

Dans l'ensemble, l'épandage du lisier a un effet marqué et rapide à faible profondeur. Par contre, les fertilisations inorganiques ont un impact rapide, observable jusqu'à 90 cm. En automne, la fertilisation organique semble avoir davantage d'impact avec des concentrations supérieures à l'autre traitement. Ceci peut s'expliquer par une utilisation préférentielle de l'azote minéral, directement assimilable, pendant la période de croissance du maïs plutôt que de l'azote organique provenant du lisier, pour lequel les conditions de température élevée et de faibles précipitations n'en favorisent pas la minéralisation. Aussi, l'épandage du lisier a été fait 3 semaines après la dernière fertilisation inorganique. En automne, les conditions climatiques viennent favoriser la minéralisation de l'azote organique du lisier et son lessivage.

#### 4.2.2 $[\text{NO}_3]_{\text{sol}}$ AU SITE 2

La Figure 4.8 illustre les concentrations à 20 cm et 50 cm de profondeur.

A 20 cm, les fertilisations inorganiques du 10 juin et du 22 juillet, et organique du 12 août ont augmenté les concentrations dans le sol. L'impact des fertilisations sur les deux sous-parcelles est observable jusqu'au mois d'octobre. L'écart entre les concentrations résultant des deux traitements est faible durant l'été (échantillonnages du 3 et 16 septembre) mais augmentent en automne

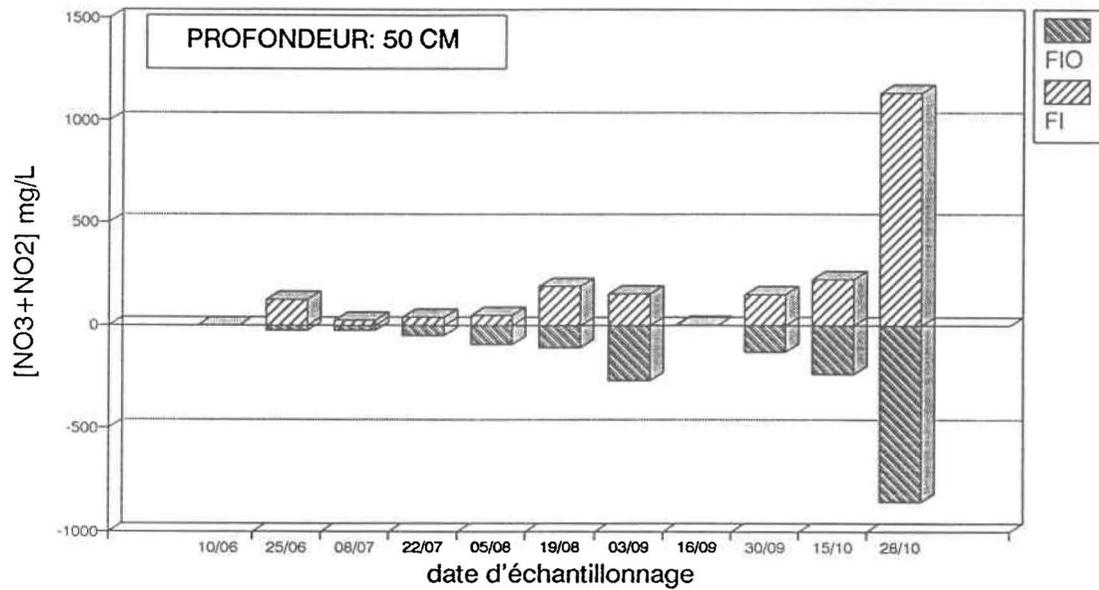
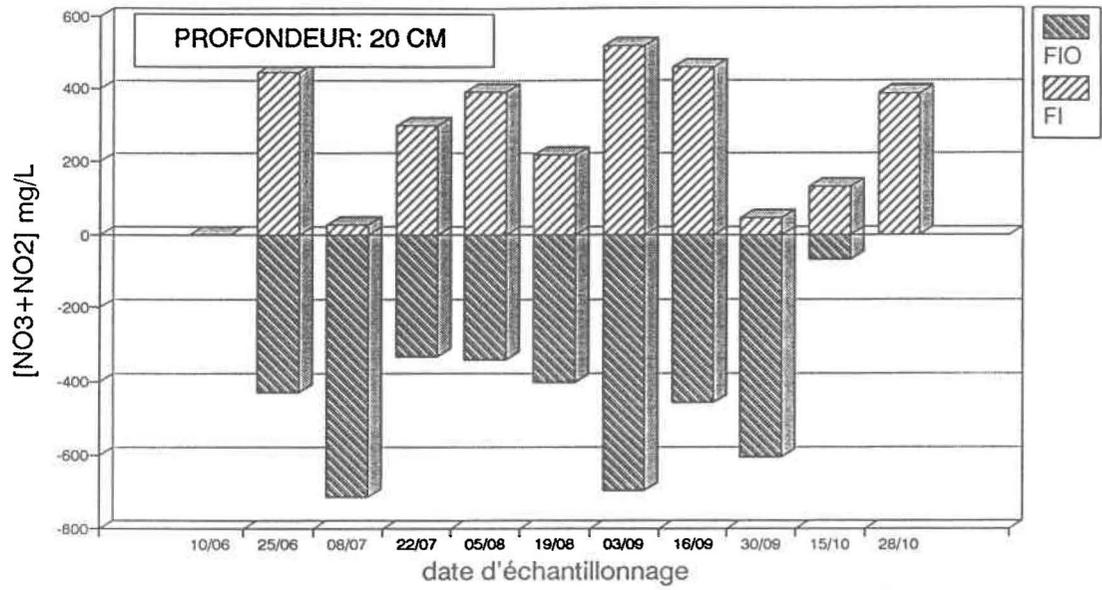


Figure 4.8 Évolution dans le temps de la concentration en nitrates dans l'eau du sol (échantillon de sol) à 20 cm et 50 cm de profondeur au site 2

(échantillonnages du 30 septembre et du 15 octobre).

A 50 cm, les écarts entre les deux traitements sont faibles et les concentrations sont en général inférieures à celles observées à la profondeur de 20 cm lors des premiers échantillonnages. L'impact des fertilisations est peu visible. En octobre, lors des deux derniers échantillonnages, les concentrations augmentent très rapidement passant de 224.17 mg/L à 1133.12 mg/L pour la fertilisation inorganique seule et de 242.55 mg/L à 859.95 mg/L pour la fertilisation organique et inorganique.

La Figure 4.9 montre les concentrations à 90 cm, où la même augmentation importante en automne se présente. Les concentrations sont inférieures à celles observées à 20 et 50 cm. Lors des deux derniers échantillonnages d'octobre, la fertilisation organique et inorganique montre des concentrations plus élevées avec 126.17 mg/L et 295.22 mg/L contre 75.95 mg/L et 131.07 mg/L pour la fertilisation inorganique seule.

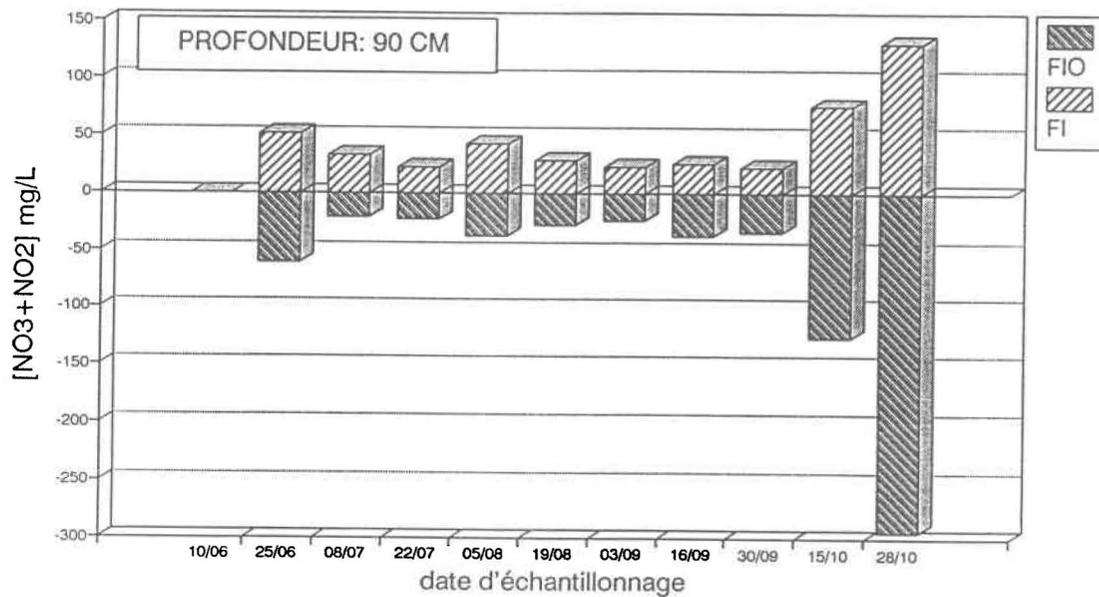


Figure 4.9 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau du sol (échantillon de sol) à 90 cm de profondeur au site 2

Dans l'ensemble, ce n'est qu'à faible profondeur que les fertilisations ont un impact direct. A 50 cm et 90 cm, aucune augmentation rapide des concentrations, reliée directement aux épandages, n'est observable. Ceci peut s'expliquer par une immobilisation rapide de l'azote par les microorganismes, par une assimilation rapide des nitrates par les plantes, et surtout par une vitesse d'infiltration de l'eau très lente qui limite la migration des nitrates vers les couches inférieures. A plus grande profondeur, des fortes concentrations se retrouvent en effet en octobre avec le retour des précipitations et l'arrêt de la croissance du maïs. Ceci permet aux nitrates de s'infiltrer en profondeur, n'étant plus assimilés par le maïs.

#### 4.2.3 COMPARAISONS DES $[\text{NO}_3^-]_{\text{sol}}$ AUX SITES 1 ET 2

La Figure 4.10 présente les concentrations des sites 1 et 2, à 20 cm, 50 cm et 90 cm. Les concentrations dans le sol représentent les nitrates contenus dans l'eau retenue par le sol, soit l'eau de rétention, l'eau capillaire et une partie de l'eau gravifique. Ainsi, de par leurs propriétés différentes (loam sableux et loam argileux) le site 1 présente un contenu en eau inférieur au site 2. De par les nombreuses années de jachère précédant l'année d'observation, le site 2 a des réserves de matières organiques et d'azote beaucoup plus importantes que le site 1. Ceci entraîne des concentrations en nitrates plus élevées au site 2 qu'au site 1.

Pour les deux sites, l'impact à faible profondeur est rapide à la suite des épandages. Le site 1, plus sableux et plus pauvre en matières organiques et argileuses, laisse facilement s'infiltrer l'eau vers les couches inférieures. Par conséquent, l'impact des fertilisations inorganiques est marqué jusqu'à 90 cm dès les premiers échantillonnages. Pour le site 2, moins perméable, l'impact des fertilisations est visible dans la couche supérieure seulement. La composition argileuse ralentit l'infiltration de l'eau et les nitrates demeurent dans les premiers horizons favorisant le cycle de l'azote plutôt que d'être rapidement lessivés. A

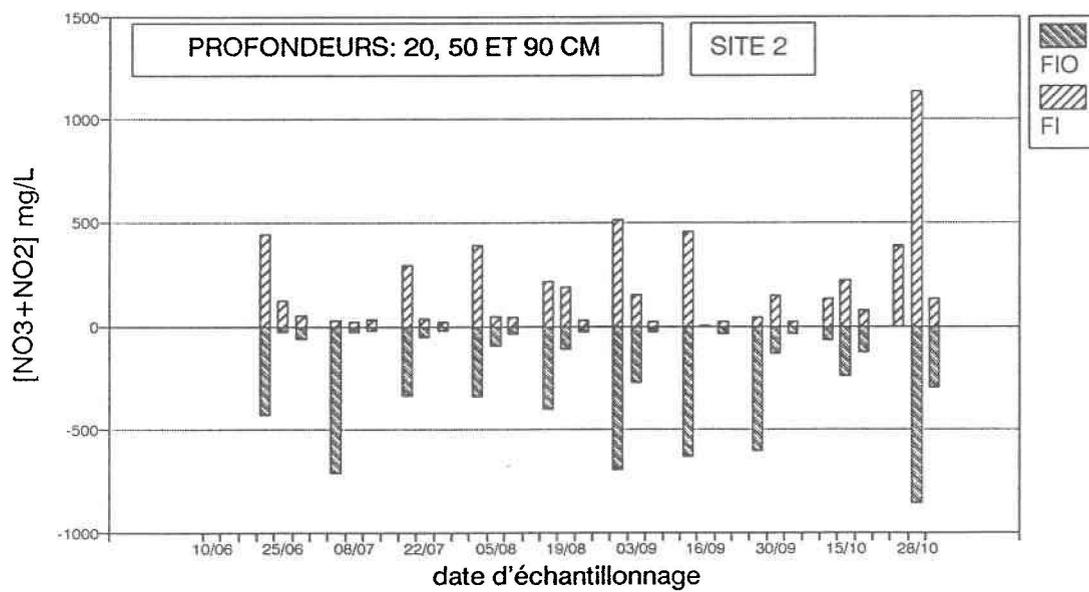
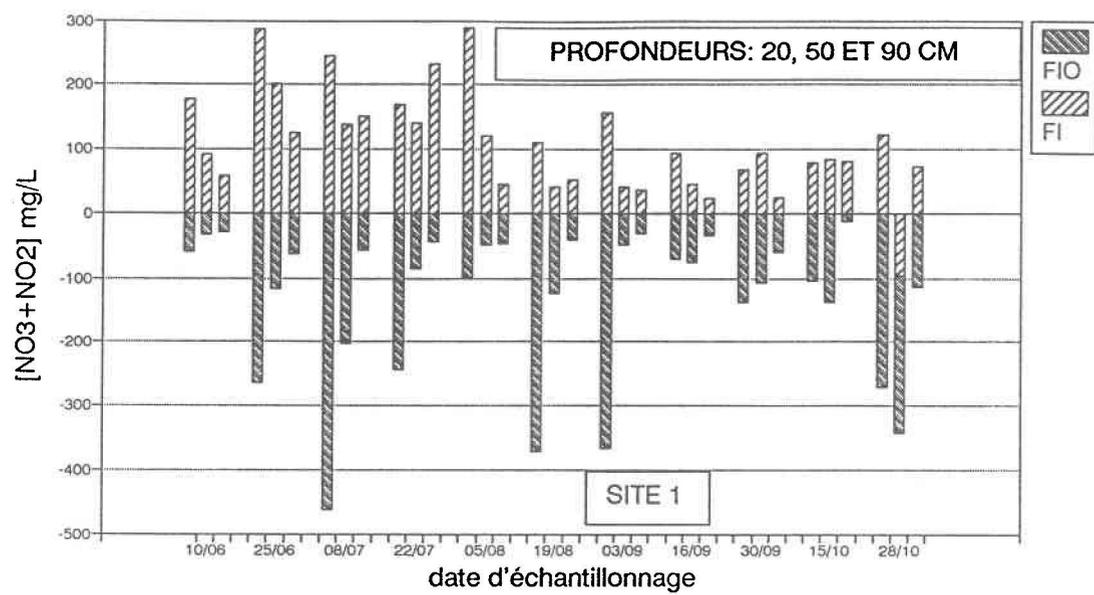


Figure 4.10 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau du sol (échantillons de sol) à toutes les profondeurs pour les sites 1 et 2

l'automne, le comportement des deux types de sol est similaire pour les deux traitements. On observe une augmentation graduelle des concentrations. En général, le traitement inorganique et organique donne des concentrations supérieures à celles du traitement inorganique seul.

Une étude de Bergstrom et Johansson (1991) a démontré que le lessivage le plus important était observé sur les sols sableux comparativement aux sols argileux et riches en matières organiques.

### 4.3 COMPARAISONS ENTRE LES $[\text{NO}_3^-]_{\text{eau}}$ ET LES $[\text{NO}_3^-]_{\text{sol}}$ A ST-AUGUSTIN

Les Figures 4.11 et 4.12 montrent les concentrations en nitrates dans l'eau et dans le sol à 50 cm et 100 cm. Pour le site 2, les Figures 4.13 et 4.14 présentent les concentrations à 55 cm et 80 cm de profondeur.

Les concentrations en nitrates mesurées dans le sol sont en moyenne 10 fois supérieures à celles observées dans l'eau interstitielle. Cette différence peut provenir du type d'eau recueillie. Les nitrates extraits d'un sol intègrent en effet les concentrations de l'eau capillaire, de l'eau de rétention et d'une partie de l'eau gravitaire conservée lors de l'échantillonnage, alors que les concentrations mesurées dans l'eau recueillie avec des lysimètres sous tension (0.6 bar) proviennent de l'eau gravitaire et d'une partie de l'eau de rétention.

Une étude réalisée en Iowa (Alberts et al., 1977) a montré le même type de différence pour un loam silteux sur 3 m de profondeur. Les concentrations retrouvées dans le sol étaient généralement supérieures (10 % à 30 %). Les auteurs expliquent que les forces d'attraction et de répulsion causées par la polarité de la molécule d'eau et par les charges électriques à la surface des grains peuvent expliquer les écarts des concentrations. La répartition de l'eau, résultant de ces forces détermine la concentration en nitrates qui y sera mesurée. Une faible teneur en eau des sols due à la faiblesse des précipitations pendant la campagne, a contribué à l'augmentation des concentrations en nitrates dans le sol. Aussi, la plus grande disponibilité des nitrates contenus dans l'eau libre entraînent un écart entre les concentrations mesurées (Stevenson, 1982).

Il est donc impossible de comparer quantitativement les résultats d'analyses de l'eau et du sol. Cependant, les graphiques des résultats montrent un synchronisme des variations entre les concentrations dans l'eau et dans le sol.

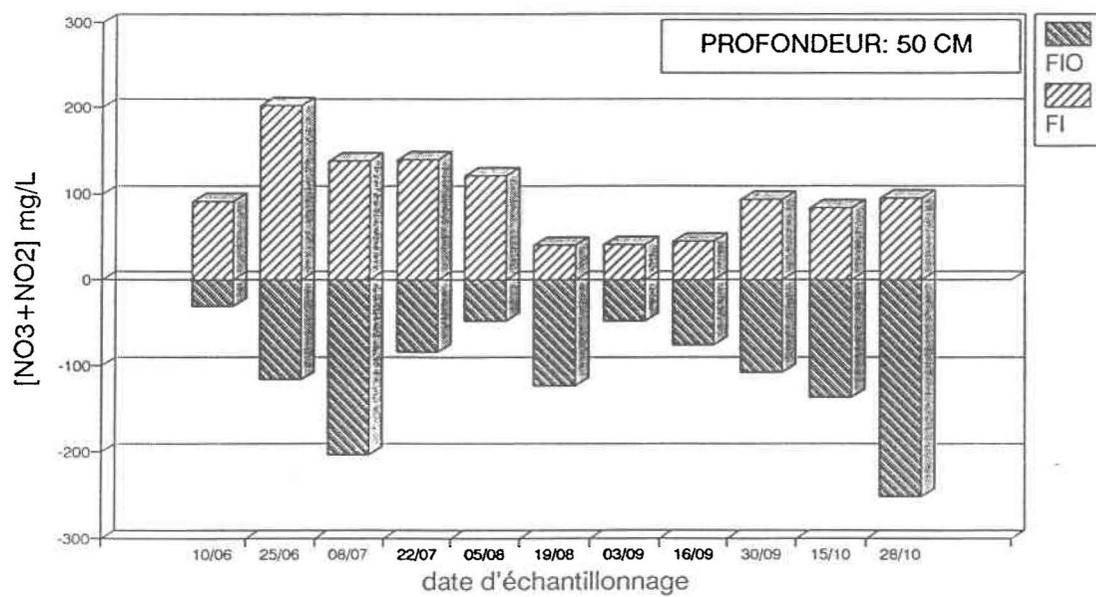
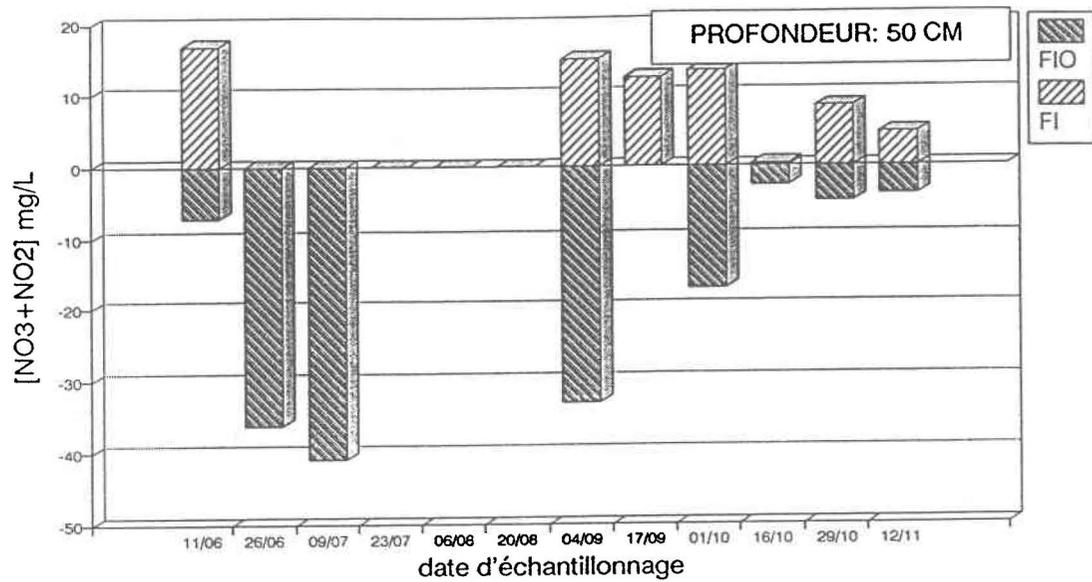


Figure 4.11 Évolution dans le temps de la concentration en nitrates dans l'eau et dans le sol à 50 cm de profondeur au site 1

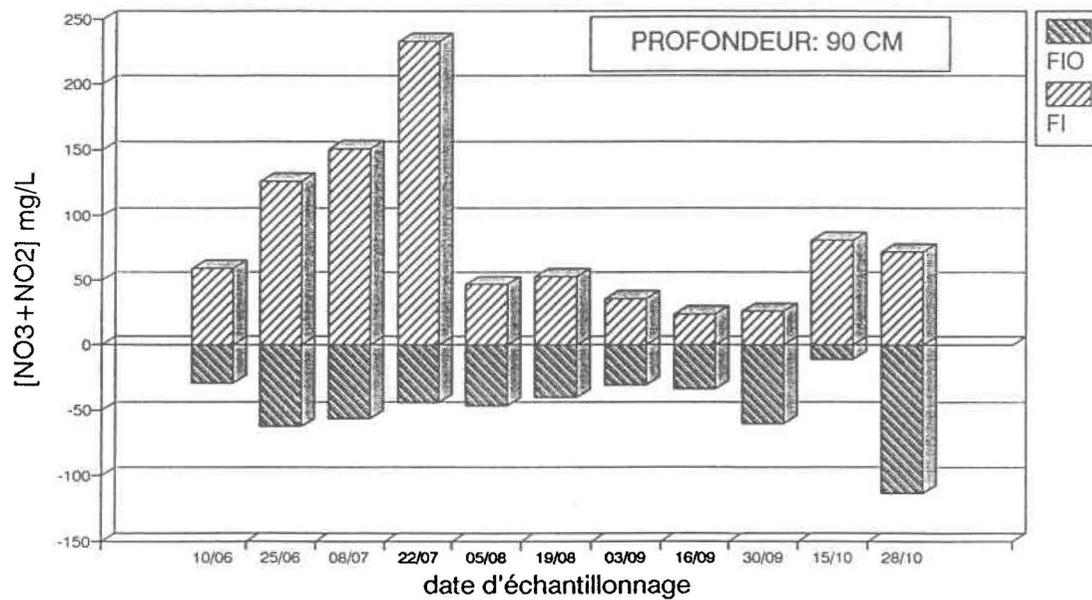
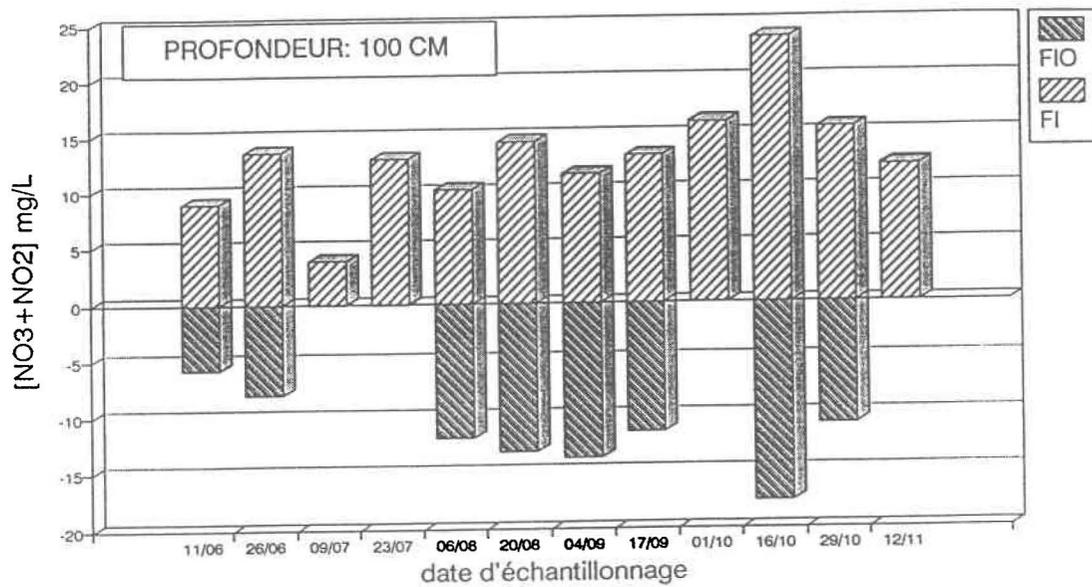


Figure 4.12 Évolution dans le temps de la concentration en nitrates dans l'eau à 100 cm et dans le sol à 90 cm de profondeur au site 1

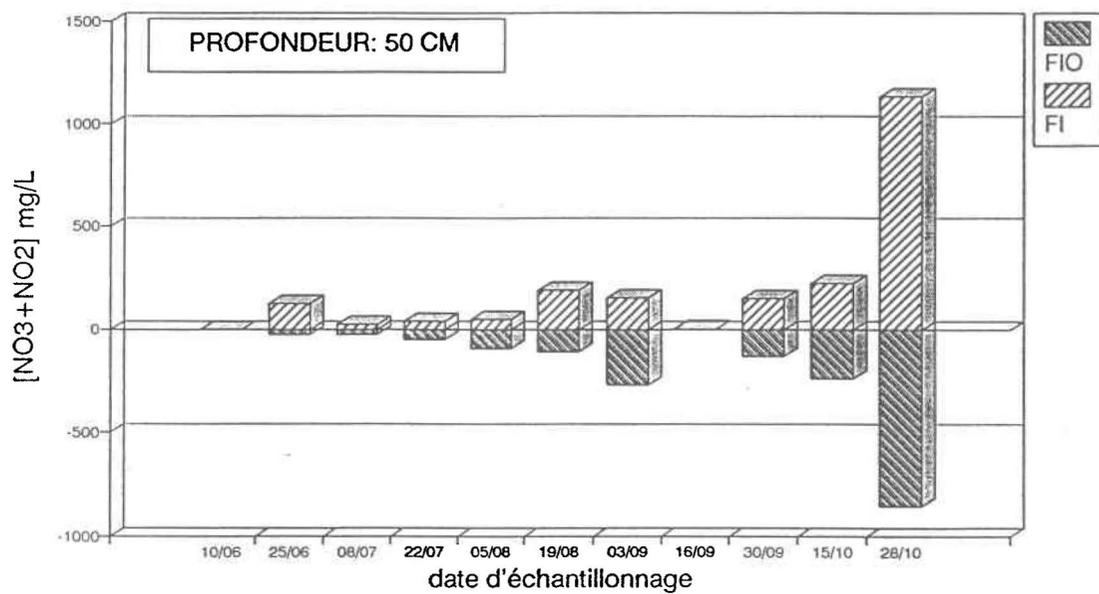
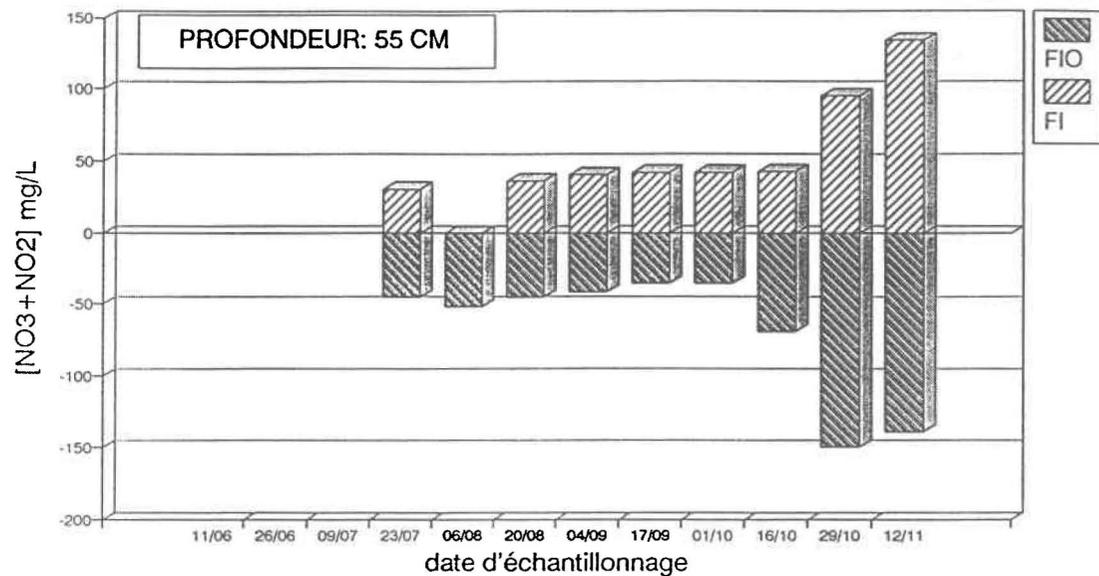


Figure 4.13 Évolution dans le temps de la concentration en nitrates dans l'eau à 55 cm et dans le sol à 50 cm de profondeur au site 2

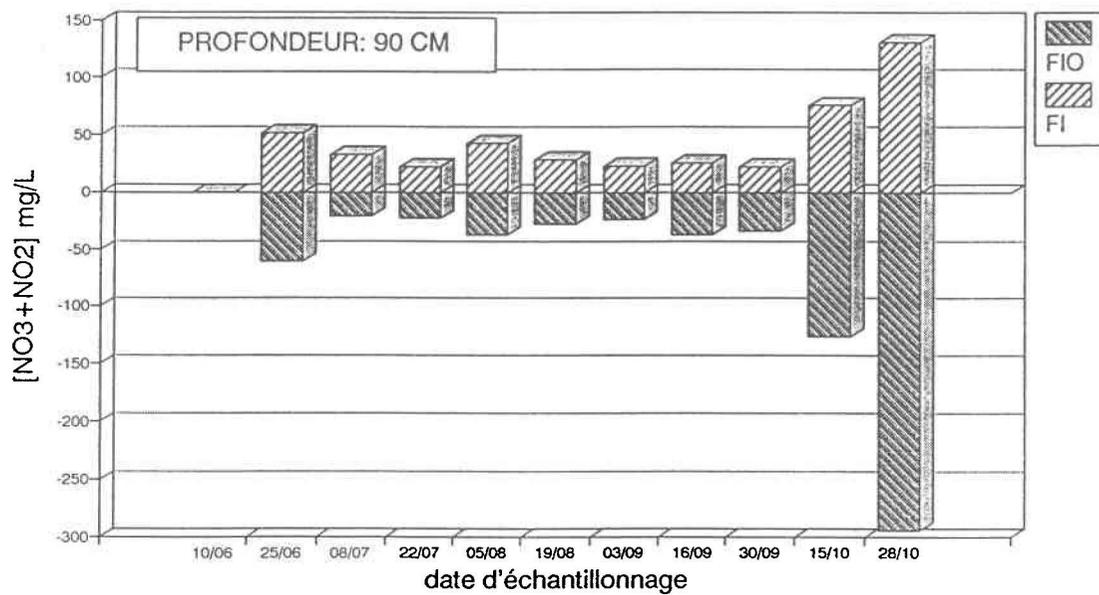
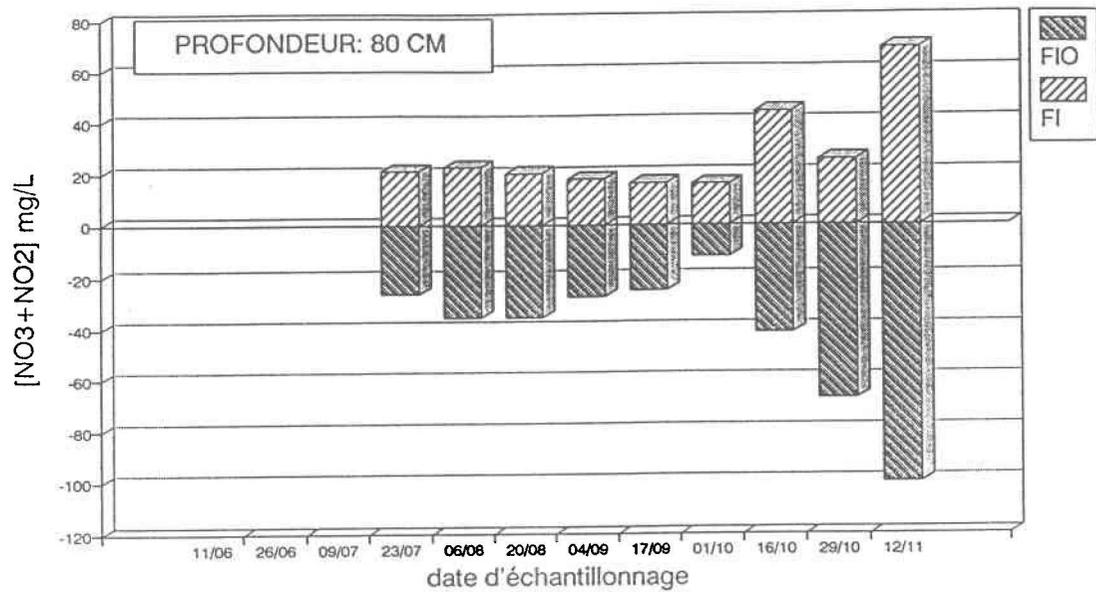


Figure 4.14 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans l'eau à 80 cm et dans le sol à 90 cm de profondeur au site 2

Par exemple, pour l'eau du site 1, à 50 cm (Figure 4.11), les augmentations observables à la suite des épandages du 10 juin, du 22 juillet et du 12 août le sont aussi pour les échantillons de sol. A plus grande profondeur (Figure 4.12), le synchronisme n'est plus observable. Les concentrations dans l'eau montrent une augmentation des concentrations à l'automne seulement, tandis que les concentrations dans le sol augmentent uniquement suite à la fertilisation inorganique du 22 juillet. Pour le site 2 (Figures 4.13 et 4.14), le synchronisme de l'impact des fertilisations n'est pas visible. Cependant, l'augmentation des concentrations en automne est visible aux mêmes échantillonnages, dans l'eau comme dans le sol, à 55 cm et 80 cm de profondeur.

## 4.4 INFLUENCE DE LA DOSE DE LISIER APPLIQUÉE

### 4.4.1 $[\text{NO}_3^-]_{\text{sol}}$ AU SITE DE ST-LAMBERT

Sur le site de St-Lambert-de-Lévis, 5 doses de lisier de porc (0, 30, 60, 90, 120 m<sup>3</sup>/ha) ont été épandues sur des parcelles d'environ 90 m<sup>2</sup>. Un échantillon de sol était prélevé à 3 profondeurs (20 cm, 50 cm et 90 cm) pour chaque dose sur 3 replicats. Par la suite, ces échantillons étaient analysés pour leur contenu en nitrates et en ammonium.

Les résultats des 12 échantillonnages effectués entre le 3 juin et le 4 novembre sont présentés en annexe (A.1.2 pour les nitrates et A.1.4 pour l'ammonium). Les Figures 4.15 et 4.16, présentent l'évolution temporelle des concentrations moyennes en nitrates pour les différentes doses aux différentes profondeurs. Etant donné les faibles précipitations de l'été 1991, il fut impossible pour plusieurs échantillonnages d'obtenir un échantillon de sol à 90 cm. C'est pourquoi seuls les quatre premiers échantillonnages sont présentés à la Figure 4.16. La Figure 4.15 montre les concentrations en nitrates pour les profondeurs de 20 cm et 50 cm. Lorsqu'un échantillon n'a pu être prélevé, nous utilisons pour la représentation graphique, la valeur moyenne des échantillonnages précédant et suivant. Les Figures 4.17 et 4.18 montrent les concentrations mesurées pour les différentes doses aux 3 profondeurs.

A 20 cm, 50 cm et 90 cm (Figures 4.15 et 4.16), les écarts entre les concentrations observées résultant des différentes doses sont plus prononcés immédiatement après l'épandage que par la suite. L'impact de l'épandage de lisier est rapide. Des concentrations importantes en nitrates sont en effet mesurées aux trois profondeurs. La présence de macropores et de fentes de dessiccation peut expliquer cette rapidité avec laquelle l'eau migre vers les couches inférieures. Les fentes de dessiccation apparaissent en sol argileux lors des périodes sèches de

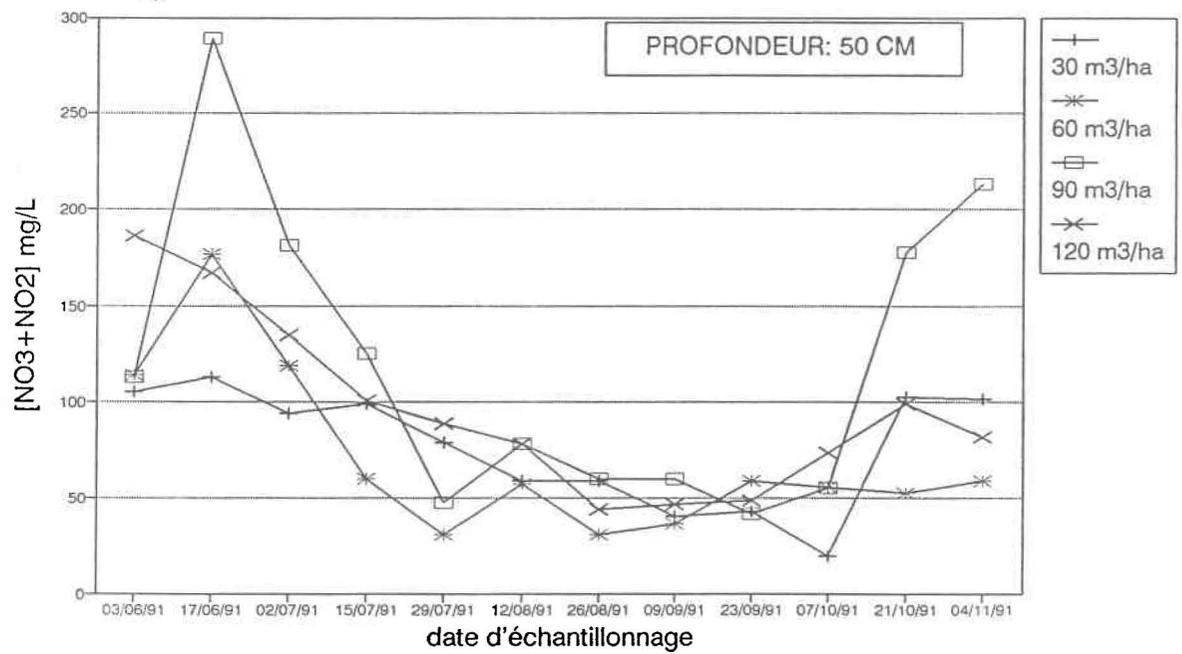
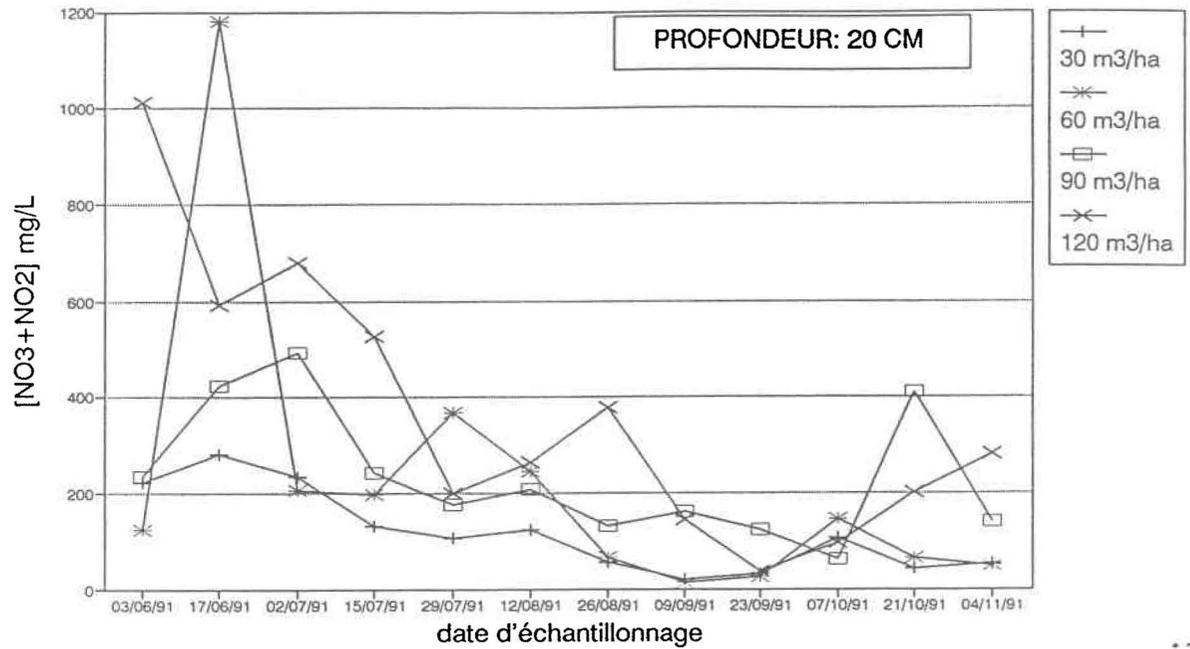


Figure 4.15 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans le sol à 20 cm et 50 cm pour les doses de 30, 60, 90 et 120 m<sup>3</sup>/ha au site 3

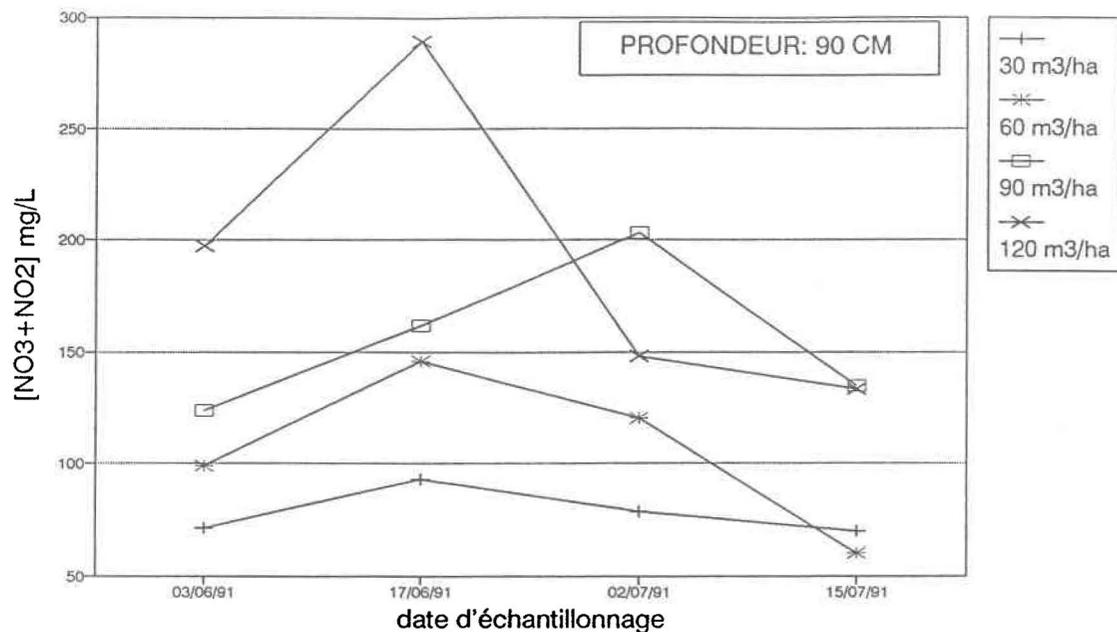


Figure 4.16 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans le sol à 90 cm de profondeur pour les doses de 30, 60, 90 et 120 m<sup>3</sup>/ha au site 3

faibles précipitations et de température élevée. Il est maintenant reconnu que ces macropores jouent un rôle important dans l'infiltration de l'eau dans le sol en déséquilibrant le régime d'écoulement (Beven et al., 1982; Leeds-Harrison et al., 1986). Ainsi, le lisier épandu à la surface du sol est rapidement entraîné par l'eau d'infiltration vers les couches inférieures via les macropores présents. Les Figures 4.17 et 4.18 montrent que pour chacune des doses, les concentrations mesurées décroissent avec la profondeur. La concentration en matières organiques et la biomasse des couches supérieures expliquent ce résultat.

La grande variabilité en surface et en profondeur des macropores rend difficile l'analyse des concentrations observées à 20 cm, 50 cm et 90 cm. Ainsi, les concentrations en nitrates dans le sol ne semblent pas directement proportionnelles à la dose de lisier épandue. Il est impossible de corrélérer la concentration dans le sol avec la dose de lisier, et les proportions ne sont pas

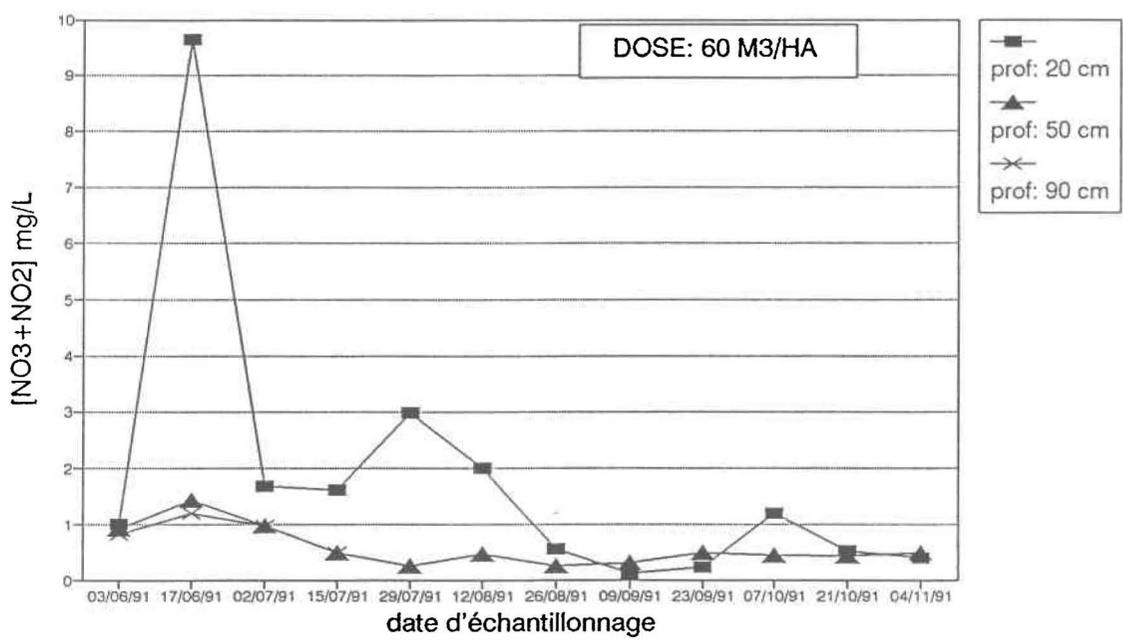
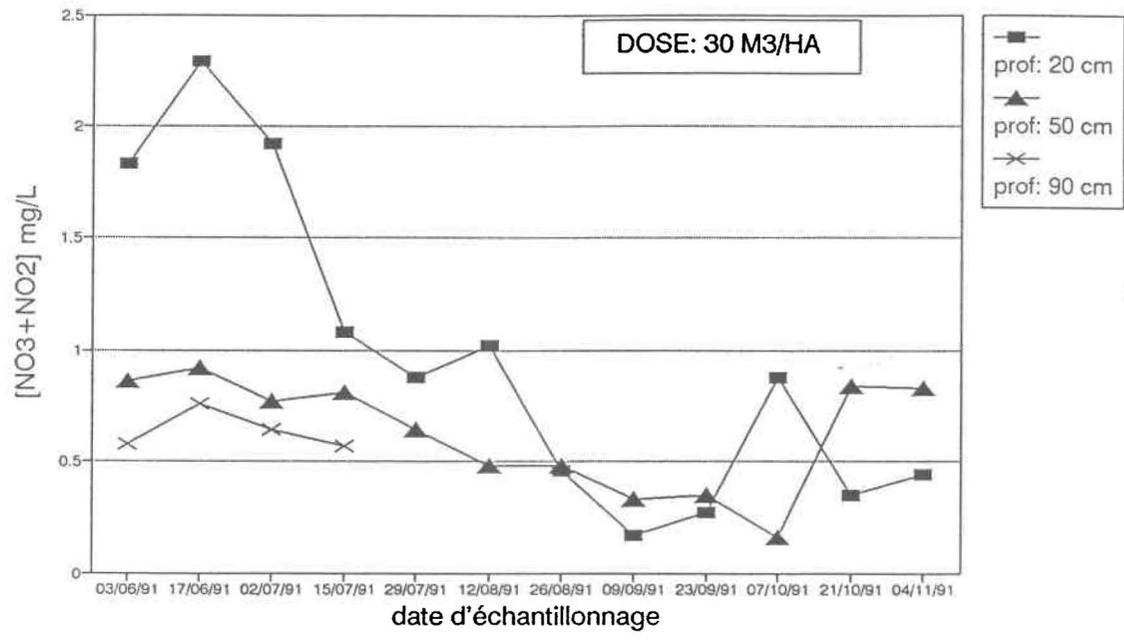


Figure 4.17 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans le sol pour les doses de 30 m<sup>3</sup>/ha et 60 m<sup>3</sup>/ha à 20 cm, 50 cm et 90 cm de profondeur au site 3

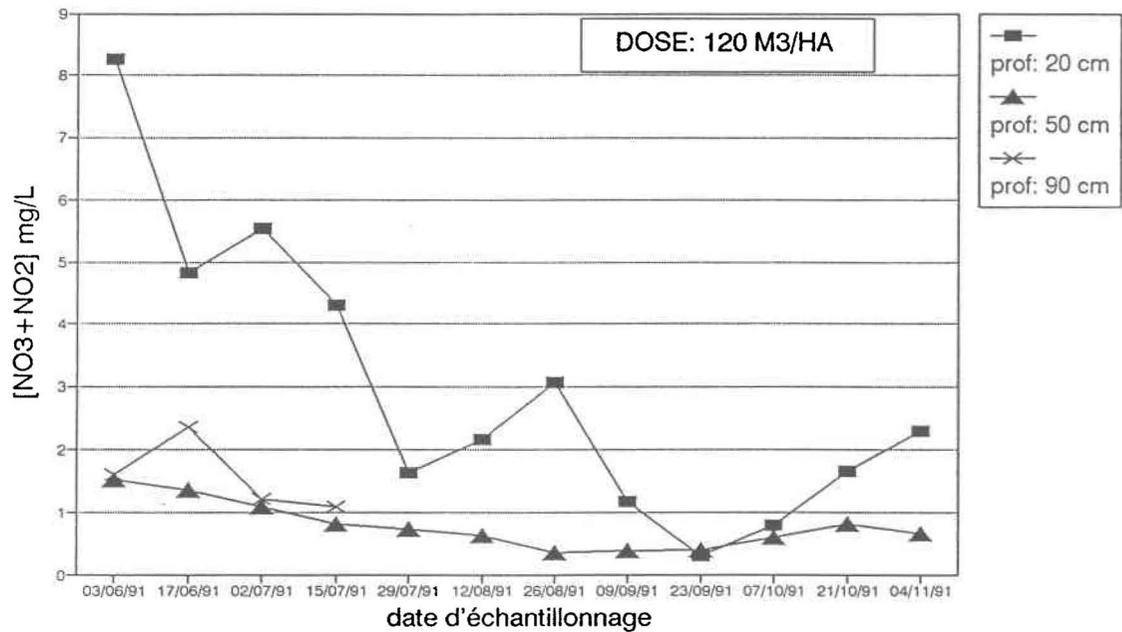
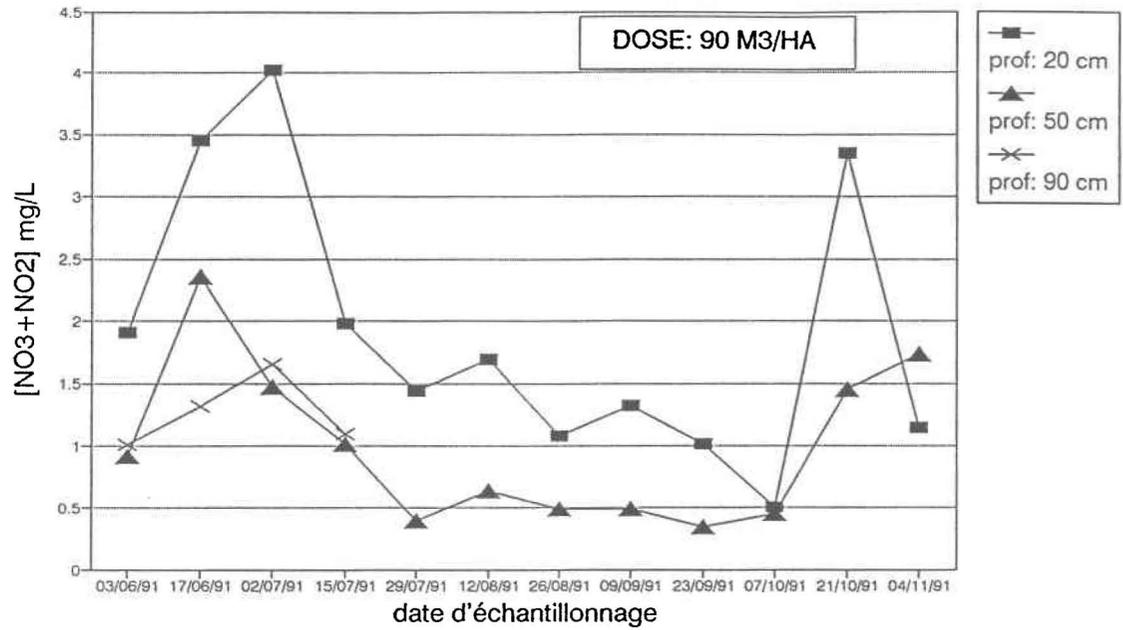


Figure 4.18 Évolution au cours du temps de la concentration en nitrates dans le sol pour les doses de 90 m<sup>3</sup>/ha et 120 m<sup>3</sup>/ha à 20 cm, 50 cm et 90 cm de profondeur au site 3

conservées. On remarque que les concentrations baissent rapidement quelque soit la dose appliquée, pour demeurer constantes jusqu'à l'automne. Ceci peut s'expliquer par une adaptation de la demande en azote par les microorganismes et de la quantité de nitrates prise en charge par les plantes à la quantité disponible (Zagal et al., 1991). Etant données les faibles précipitations de l'été, il est impossible d'imputer cette baisse des concentrations au lessivage. On peut invoquer un prélèvement par les plants de maïs, une immobilisation par les microorganismes et une volatilisation par le processus de dénitrification. Le temps chaud et sec qui a suivi les épandages de lisier a favorisé la volatilisation de l'ammoniac, et l'abondance de matières organiques a contribué au développement de la biomasse microbienne.

#### 4.4.2 ANALYSE DE VARIANCE

Une analyse de variance a été réalisé avec le logiciel SAS pour les 4 échantillonnages suivant la date d'application du lisier. Des variations importantes survenant pendant cette période et aucune donnée ne manquant pour ces 4 séries, nous avons ainsi limité notre analyse de variance à ces 4 échantillonnages.

Premièrement, nous avons considéré un design appelé split-plot: 3 blocs (replicats), 5 doses (0, 30, 60, 90 et 120 m<sup>3</sup>/ha) et 3 profondeurs (20 cm, 50 cm et 90 cm). Le modèle a vérifié les relations des concentrations dans le temps avec (1) la profondeur (variation verticale des concentrations), (2) la dose (influence de la dose), et (3) la dose et la profondeur. Ce dernier test avec la dose et la profondeur vérifie si, pour une date donnée, les concentrations varient de la même façon d'une dose à l'autre pour les 3 profondeurs (parallélisme). Pour les 4 dates, les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative (à 5 %) entre les doses pour les 3 profondeurs. Les concentrations varient ainsi de la même façon d'une dose à l'autre pour les 3 profondeurs. Ceci tend à démontrer le rôle de la

macroporosité qui permet une infiltration rapide dans tout le profil de sol.

Les résultats précédents indiquant qu'il n'y a pas de différence significative entre les profondeurs et entre les doses, il est possible d'appliquer un design en blocs randomisés à régressions multiples. Premièrement, le test utilise la moyenne des concentrations pour les 3 profondeurs et vérifie les relations avec les 5 doses. Pour un second test, c'est la moyenne des doses qui est utilisée en regard des 3 profondeurs. Les résultats indiquent qu'à 5 % de niveau de signification, il n'y a pas de différence significative entre les doses pour les 4 dates retenues. Cela signifie que les concentrations en nitrates mesurées pour chacune des 5 doses de lisier, ne sont pas significativement différentes entre elles. Ceci peut s'expliquer par le fait que les échantillonnages étudiés suivent de trop près l'épandage et qu'en conséquence, l'influence de celui-ci n'est pas encore ressentie. Finalement, le dernier test indique que les profondeurs ne sont pas significativement différentes à 5 % pour les temps 1, 2 et 4. Ceci signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre les concentrations mesurées à 20 cm, 50 cm et 90 cm. Pour le temps 3, on observe une différence significative entre les profondeurs 20 cm et 90 cm seulement. Le Tableau 4.1 présente l'ensemble des résultats de l'analyse de variance.

Tableau 4.1 Résultats de l'analyse de variance

| DATES    | 03\06\91         | 17\06\91         | 02\07\91                       | 15\07\91         |
|----------|------------------|------------------|--------------------------------|------------------|
| DOSES    | non significatif | non significatif | non significatif               | non significatif |
| PROFOND. | non significatif | non significatif | significatif entre 20 et 90 cm | non significatif |

Lors d'une étude semblable portant sur l'influence de la dose de fertilisant inorganique sur la concentration en azote dans l'eau (Bergstrom et al., 1986), une

corrélation significative avait été trouvée entre les doses et les concentrations en nitrates mesurées dans l'eau. Dans notre étude, l'influence de la dose de lisier sur la concentration en nitrates n'est peut-être pas observable du fait d'une trop courte période d'observation (4 mois).

Une trop grande variabilité intrinsèque de la concentration en nitrate, et/ou une méthode d'analyse des nitrates peu fiable pourraient par ailleurs expliquer ces résultats. Cette grande variabilité (macropores) nécessiterait un nombre d'échantillons plus important pour représenter adéquatement le site. Lors d'une étude semblable, Alberts et al.(1977) ont déterminé, pour une probabilité de 5 %, qu'un écart-type de 25 % nécessite 12 replicats.

## CHAPITRE 5 DISCUSSION GÉNÉRALE ET CONCLUSION

Les objectifs de la présente étude étaient de considérer l'influence sur les concentrations en nitrates dans l'eau et dans le sol de différents facteurs comme le type de sol, le type et la dose de fertilisant, et la technique d'échantillonnage.

Les travaux effectués dans le cadre de ce projet ont permis de faire ressortir quelques points importants. Le suivi des concentrations en nitrates dans l'eau montre que les concentrations sont plus élevées pour le loam argileux (site 2) que pour le loam sableux (site 1). L'impact des traitements est davantage décalé, à grande profondeur, pour le site 2 que pour le site 1. Les vitesses apparentes de lessivage sont de 4 cm/jour au site 1 et de 2 cm/jour au site 2. La granulométrie plus fine et la composition de loam argileux du site 2 ralentissent l'infiltration de l'eau et les nitrates libres sont conservés plus longtemps dans le cycle de l'azote. Le site 1 plus sableux et donc plus perméable, favorise le lessivage des nitrates libres par l'eau gravitaire, qui sont rapidement entraînés vers la nappe d'eau souterraine. En automne, on remarque une augmentation des concentrations plus importante au site 2, due à l'arrêt de croissance du maïs et à des précipitations abondantes. Ceci est renforcé par les nombreuses années de jachère et la présence de matière organique au site 2 qui en font un sol riche et fertile où la biomasse est efficace. La fertilisation organique et inorganique entraîne par ailleurs des concentrations en nitrates supérieures à celle inorganique seulement, surtout à grande profondeur.

Les concentrations mesurées dans le sol montrent un impact rapide à faible profondeur pour les deux sites. Cependant, pour le site 1, l'impact des fertilisations se fait sentir jusqu'à 90 cm en raison de la conductivité hydraulique plus élevée du loam sableux qui permet une infiltration rapide de l'eau. Comme pour l'eau interstitielle, les concentrations en nitrates dans le sol sont plus élevées

au site 2. En automne, l'augmentation des concentrations est similaire pour les deux traitements de fertilisation. La fertilisation inorganique et organique donne généralement des concentrations en nitrates supérieures à celles de la fertilisation inorganique seule.

Les concentrations en nitrates mesurées dans le sol sont supérieures à celles observées dans l'eau interstitielle. La tension modérée appliquée sur les lysimètres (0.6 bar) récolte un échantillon d'eau libre. Par contre, les nitrates mesurés dans les sols proviennent de l'eau libre et de l'eau de rétention. Les forces d'attraction et de répulsion causées par les charges électriques à la surface des grains peuvent expliquer cette répartition des ions. La proportion très faible d'eau liée par rapport à la quantité d'eau libre peut expliquer les concentrations élevées dans l'échantillon d'eau du sol. Un synchronisme de l'augmentation des concentrations dans l'eau et dans le sol est observable graphiquement suite aux épandages et à l'automne. Il serait profitable de vérifier ces tendances par des études à plus long terme.

Les concentrations observées dans un sol argileux, suite à l'épandage de différentes doses de lisier, montrent un impact rapide à toutes les profondeurs. La présence de macropores et de fentes de dessiccation peut expliquer cette rapidité avec laquelle l'eau migre vers les couches inférieures. L'écart entre les concentrations mesurées pour les différentes doses est plus important tout de suite après l'épandage. Par la suite, les concentrations diminuent rapidement et ne sont pas proportionnelles à la dose appliquée. Ceci peut s'expliquer par la grande variabilité spatiale en surface et en profondeur reliée aux macropores, et par une adaptation des besoins en azote des microorganismes et des plantes à la quantité d'azote disponible. Une analyse de variance a montré qu'il n'y a aucune différence significative observable entre les doses appliquées pour les échantillonnages suivant l'application. Une trop grande variabilité intrinsèque de la concentration en nitrates et/ou une méthode d'analyse des nitrates peu fiable

peuvent expliquer ce résultat. Un nombre d'échantillons plus important serait donc nécessaire pour représenter adéquatement le site.

L'échantillonnage du sol pour un suivi des concentrations en nitrates ne nécessite pas l'installation d'appareils coûteux d'échantillonnage tels les lysimètres. L'équipement nécessaire est simple et l'échantillonnage rapide. Les résultats de cette étude montrent que les concentrations en nitrates mesurées dans les sols sont en moyenne supérieures à celles observées dans l'eau. Les concentrations obtenues dans le sol permettent de faire le bilan de la quantité de nitrates potentiellement lessivables alors que celles observées dans l'eau constituent directement ceux lessivés par les précipitations. Pour des recherches portant sur la dynamique d'échange des nitrates entre les différents compartiments d'eau, l'échantillonnage conjoint de l'eau interstitielle et du sol constitue une bonne méthode de suivi.

Pendant toute la campagne d'échantillonnage et pour les 3 sites, le dosage de l'ammonium a été fait. Etant donné que les concentrations observées sont très faibles et que peu de variation existe durant la campagne d'échantillonnage, les résultats obtenus n'ont pas été analysés dans cette étude. Cependant, on peut les retrouver en annexe (A.1.3, A.1.4, A.1.7, A.1.8).

L'utilisation du logiciel de statistique SAS a été très utile à l'analyse globale des résultats d'échantillonnage. Cependant, son application n'a pas été possible pour les 3 sites de cette étude en raison d'un trop grand nombre de données manquantes et d'une variabilité des valeurs trop importante pour une analyse de variance. A partir d'un échantillonnage représentatif et de séries de valeurs complètes, il est profitable d'intégrer la statistique pour une analyse objective et globale des résultats.

Il serait important de revoir la méthode d'extraction des sols, plus

précisément d'augmenter la quantité de sol extrait et le nombre d'échantillons afin d'améliorer la représentativité de l'échantillonnage. La méthode de dosage des nitrates au Technicon est plus ou moins fiable étant donné l'instabilité de certains réactifs et de la colonne de cadmium. Pour des échantillonnages nombreux et fréquents, cette méthode qui demande par ailleurs beaucoup de manipulations et de précision, constitue un facteur limitant à une telle étude.

Les stations de lysimètres du site 1 doivent être inspectées avant toutes autres campagnes d'échantillonnage. Les irrégularités de quelques stations portent à mettre en doute la capacité de celles-ci à extraire un échantillon d'eau interstitielle représentatif. Des problèmes de colmatage des pierres poreuses, de maintien de la tension appliquée, d'altération de l'échantillon ont déjà été soulevés (Grossman et al., 1991; Hansen et al. 1991). Par ailleurs, un nouveau site devrait bénéficier d'une période de conditionnement avant d'être impliqué dans une étude. Ce délai permettrait la remise en place du sol, remanié par l'installation des lysimètres et le rétablissement des conditions hydrologiques initiales.

Enfin, les objectifs d'une telle étude devraient être menés dans le cadre d'une recherche à plus long terme, de 5 ans à 10 ans, afin de mettre en évidence d'avantage l'influence des processus et des transformations impliqués dans le cycle de l'azote et par le fait même dans la problématique de la contamination de l'eau souterraine par les nitrates.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alberts, E.E., Burwell, R.E. et Schuman, G.E.(1977). Soil nitrate-nitrogen determined by coring and solution extraction techniques. *Soil Sci. Soc.Am.J.*,41:90-92.
- Avnimelech, Y., Raveh, J.(1976). Nitrate leakage from soils differing in texture and nitrogen load. *J.Environ.Qual.*,1:79-82.
- Baril, R.W.(1974). Carte pédologique de la station agronomique de St- Augustin. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval. 1 carte, échelle: 1:3600.
- Bélanger, M.C.(1992). Étude du transfert de chaleur dans un sol agricole. Rapport de stage, INRS-EAU, Université du Québec. 28 pp.
- Bergstrom, L.(1986). Distribution and temporal changes of mineral nitrogen in soils supporting annual and perennial crops. *Sweden J.Agric.Res.*,16:105-112.
- Bergstrom, L.(1987). Leaching of nitrate and drainage from annual and perennial crops in tile-drained plots and lysimeters. *J.Environ.Qual.*,16:11-18.
- Bergstrom, L.(1987). Leaching of 15-N labeled nitrate fertilizer applied to barley and a grass ley. *Acta.Agric.Scand.*,37:199-206.
- Bergstrom, L. et Brink, N.(1986). Effects of differentiated applications of fertilizer N on leaching losses and distribution of inorganic N in the soil. *Plant and soil*,93:333-345.
- Bergstrom, L.,Johansson, R.(1991). Leaching of nitrate from monolith lysimeters of different types of agricultural soils. *J.Environ.Qual.*,20,no.4:801-807.

- Beven, K. et Germann, P.(1982). Macropores and water flow in soils. *Water Resources Res.*,18:1311-1325.
- Bonde, T.A. et Rosswall, T.(1987). Seasonal variation of potentially mineralizable nitrogen in four cropping systems. *Soil Sci. Soc.Am.J.*,51:1508-1514.
- Borg, G.Ch.,Jannsson, P.E.et Lindén, B.(1990). Simulated and measured nitrogen conditions in a manured and fertilized soil. *Plant Soil*, 121:251-267.
- Clark, T.H. et Globemsky, Y.(1973). Portneuf et partie de St-Raymond et de Lyster, comtés de Portneuf et de Lobinière. Rapport géologique 148 Ministère des Ressources Naturelles du Québec 100 pp.
- Côté, D.(1990a). Vers une gestion des engrais favorable à la conservation de l'eau. Compte-rendu du "Colloque sur la conservation de l'eau en milieu agricole", Conseil des productions végétales du Québec, Québec, 12-13 février, pp. 199-218.
- Debosz, K.K et Vinther, F.P.(1988). An in situ technique for simultaneous measurements of mineralization, leaching, and plant uptake of nitrogen applied to agricultural soils. Dans: *Nitrogen in organic wastes applied to soils*. J.A.Hansen et K.Henriksen [Eds],1-3. Academic Press, London U.K. 376 pp.
- Dixon, W.J.(1986). Extraneous values. Dans: *Soil analysis, part 1. Physical and mineralogical methods*. Agronomy monograph no.9. ASA-SSSA. pp.83-90.
- Egboka, B.C.E.(1984). Nitrate contamination of shallow groundwaters in Ontario, Canada. *The Science of the Total Environment*, 35: 53-70.
- Ekwue, E.I.(1991). Effect of organic and fertilizer treatments on soil physical properties and erodibility. *Soil and Tillage Research*, 22: 199-209.

- Frenette, C.(1991). Etude géostatistique de la variabilité dans le sol de la densité, de la porosité et de la perméabilité. Projet de fin d'études, Département de Géologie, Université Laval. 12 p.
- Freund, J.R., Littell, R.C. et Spector, P.C.(1986). SAS System for linear models. SAS Institute Inc. Cary, N.C., U.S.A.
- Frissel, M.J. et Van Veen, J.A.(1982). A review of models for investigating the behaviour of nitrogen in soil. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 296, 341-349.
- Gold, A.J., DeRagon, W.R., Sullivan, W.M. et Lemunyon, J.L.(1990). Nitrate-nitrogen losses to groundwater from rural and suburban land uses. J. Soil and Water Cons.45: 305-310.
- Groot, J.J.R, De Willigen, P. et Verberne, E.L.J.(1990). Developments in plant and soil sciences. Proceedings of a workshop, Institut for soil fertilityresearch, Haren, The Netherlands, 5-6 june 1990. Kluwer Academic Publishers.
- Grossmann, J. et Udluft, P.(1991). The extraction of soil water by suction-cup method: a review J. of Soil Sci.,42: 83-93.
- 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.
- Gustafson, A.(1983). Leaching of nitrogen from arable land into groundwater in Sweden. Environ. Geology.,2: 65-71.
- Gustafson, A.(1988). Simulated nitrate leaching from arable land in southern Sweden. Acta. Agric. Scand.,38: 13-23.
- Hahne, H.C.H., Kroontje, W. et Lutz, Jr.J.A.(1977). Nitrogen fertilization: I. Nitrate accumulation and losses under continuous corn cropping. Soil Sci. Soc.Am.J.,41: 562-568.

- Halliday, S.L. et Wolfe, M.L.(1991). Assessing groundwater pollution potential from nitrogen fertilizer using a geographic information system. *Water Resources Bulletin*,27,no.2: 237-245.
- Hansen, E.A. et Harris, A.R.(1975). Validity of soil-water samples collected with porous ceramic cups. *Soil Sci. Amer. Proc.* ,39: 528-536.
- Havelka, U.D., Boyle, M.G. et Hardy, R.W.F.(1982). Biological nitrogen fixation. Dans: *Nitrogen in agricultural soils*. F.J. Stevenson [Ed.], Agronomy monograph no.22. ASA-CSSA-SSSA. 940 pp.
- Jansson, S.L. et Siman, G.(1978). Nitrogen economy and energy exchange in Swedish Agriculture, especially plant husbandry. Report no.3, Stockholm, Sweden.
- Jansson, S.L. et Persson, J.(1982). Mineralization and immobilization in soil nitrogen. Dans: *Nitrogen in agricultural soils*. F.J. Stevenson [Ed.], Agronomy monograph no.22. ASA-CSSA-SSSA. 940 pp.
- Jobidon, J.(1990). Interdépendance des propriétés physiques des sols dans un modèle de contamination des eaux souterraines par des pesticides. Mémoire de maîtrise, INRS-EAU, Québec, Canada.
- Kaspar, T.C., Brown, H.J. et Kassmeyer, E.M.(1991). Corn root distribution as affected by tillage, wheel traffic, and fertilizer placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.*,55: 1390-1394.
- Klemedtsson, L., Simkins, S., Svensson, B.H., Johnsson, H. et Rosswall, T.(1991). Soil denitrification in three cropping systems characterized by differences in nitrogen and carbon supply. II. Water and NO<sub>3</sub> effects on the denitrification process. *Plant and Soil*,138: 273-286.
- Kubiak, R., Fuhr, F., Mittelstaedt, W., Hansper, M., Steffens, W.(1988). Transferability of lysimeter results to actual field situations. *Weed Sci.*,36: 514-518.

- Lafrance, P., Banton, O. et Villeneuve, J.P.(1991). Spacial variability of total carbon, nitrogen and organic matter, and their relationships in a sandy soil in Quebec. Soumis en Février 1990 à Soil Sci. Soc.Am. J.
- Lal, R., et Lal, S.(1988). Pesticides and Nitrogen Cycle, Volume 1, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, 137 pp.
- Leeds-Harrison, P.B., Shipway, C.J.P., Jarvis, N.J. et Young, E.G.(1986). The influence of soil macroporosity on water retention, transmission and drainage in a clay soil. Soil use and man,2: 47-50.
- Linden, B.(1977). Equipment for sampling in agricultural soils. Division of soil fertility, Swed. Univ. Agric. Sci. Report no.112, 29 pp.
- Linden, B.(1979). Subsoil sampling in agricultural soils. Division of soil fertility, Swed. Univ. Agric. Sci. Report no.120, 7 pp.
- Maag, M.(1988). Denitrification losses from soil receiving pig slurry or fertilizer. Dans: Nitrogen in orgnic wastes applied to soils. Jansen,J.A., et Henriksen,K.[Eds.] Academic Press, London, U.K. 376 pp.
- MacGregor, J.M., Blake, G.R. et Evans, S.D.(1974). Mineral nitrogen movement into subsoils following continued annual fertilization for corn. Soil Sci. Soc. Am. Proc.,38: 110-113.
- Mackay, D.C., Carefoot, J.M. et Sommerfeldt, T.G.(1989). Nitrogen fertilizer requirements for barley when applied with cattle manure containing wood shavings as soil amendment. Can. J. Soil Sci., 69: 515-523.
- Malhi, S.S., Nyborg, M. et Solberg, E.D.(1989). Recovery of <sup>15</sup>N-labelled urea as influenced by straw addition and method of placement. Can. J. Soil Sci.,69: 543-550.

Martensson, A.M. et Witter, E.(1990). Influence of various soil amendments on nitrogen-fixing soil microorganisms in a long-term field experiment, with special reference to sewage sludge. *Soil Biol.Biochem.*,22,no.7: 977-982.

MENVIQ, Ministère de l'Environnement du Québec (1988). L'environnement au Québec: un premier bilan, synthèse. Direction des communications et de l'éducation, ministère de l'environnement. 96 pp.

MENVIQ, (1990a). Critères de qualité de l'eau. Service d'évaluation des rejets toxiques et Direction de la qualité des cours d'eau, Ministère de l'Environnement du Québec, Québec, 423 pp.

Newbould, P.(1989). The use of nitrogen fertiliser in agriculture. Where do we go practically and ecologically ? Dans: *Ecology of arable land, Perspectives and Challenges*. M Clarholm, L Bergstrom [Eds.].Kluwer Academic Publishers, Lund, Sweden, 222pp.

Pageau, E.(1975). Etude pédologique du comté de Dorchester. Ministère de l'agriculture, Québec, Division des sols.

Patni, N.K., Culley, J.L.B.(1989). Corn silage yield, shallow groundwater quality and soil properties under different methods and times of manure. *Transactions of the ASAE*,32(6): 2123-2129.

Power, J.F., Schepers, J.S.(1989). Nitrate contamination of groundwater in North America. *Agric. Ecos. and Environ.*,26: 165-187.

Rolston, D.E.(1989). Session II: Gaseous losses. Dans: *Nitrogen in organic wastes applied to soils*. Hansen J.A. and Henriksen K. [Eds.], 1-3, Academic Press, London, U.K., 376 pp.

Shotliff, J.(1990). Nitrate and soil compaction. *Agric.Eng.*,45(1): 20-21.

- Schmidt, E.L.(1982). Nitrification in soil. Dans: Nitrogen in agricultural soils. Stevenson,F.J.[Ed.] Agronomy monography no.22. ASA-CSSA-SSSA. 940 pp.
- Steen, E(1989). 8. Agricultural outlook. Dans: Ecology of arable land Organisms, Carbon and Nitrogen Cycling. O Andren,T Lindberg, Paustian and T Rosswall [Eds.]. Ecol.Bull.(Copenhagen) 40: 181-189, 295 pp.
- Steevoorden, J.H.A.M.(1989). Session IV: Nitrate leaching. Dans: Nitrogen in organic wastes applied to soils. Hansen J.A. and Henrksen K.[Eds.], 1-3, Academic Press, London, U.K., 376 pp.
- Stevenson, F.J.(1982). Origin and distribution of nitrogen in soil. Dans: Nitrogen in agricultural soils. Stevenson,F.J.[Ed.] Agronomy monography no.22. ASA.CSSA.SSSA. 940 pp.
- Strebel, O., Duynisveld, W.H.M., Bottcher, J.(1989). Nitrate pollution of groundwater in Western Europe. Agric. Ecos. and Environ.,26: 189-214.
- Swedish Environmental Protection Agency (1991). Wetlands and lakes as nitrogen traps. Research programme for the period 1 july 1990-30 june 1994.
- Wermke, M.(1987). Nitrate in soil water at different depths during the growing season on permanent pasture (comparison of mineral fertilizer and liquid manure). Dans: Animal manure on grassland and fodder crops. Meer,H.G., et al.[Eds.].pp.373-376.
- Zagal, E. et Johansson, G.(1991). Carbon distribution and mineralization-immobilization of soil nitrogen in barley. Swedish University of Agricultural Sciences. Non publié.

ANNEXES  
RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

## ANNEXE A.1.1

SOL DU SITE 1 DE ST-AUGUSTIN  
 [ NO3+NO2 ] EN mg/L  
 PROFONDEURS: 20 CM, 50 CM ET 90 CM

|        | DATE     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ECHANT | 10/06/91 | 25/06/91 | 08/07/91 | 22/07/91 | 05/08/91 | 19/08/91 | 03/09/91 | 16/09/91 | 30/09/91 | 15/10/91 | 28/10/91 |
| G-20   | 58.8     | 264.6    | 461.825  | 243.775  | 100.45   | 372.4    | 366.275  | 69.825   | 137.2    | 104.125  | 270.725  |
| D-20   | 177.625  | 287.875  | 245      | 167.825  | 290.325  | 111.475  | 158.025  | 93.1     | 67.375   | 79.625   | 122.01   |
| G-50   | 31.85    | 116.375  | 203.35   | 84.525   | 49       | 123.725  | 49       | 75.95    | 107.8    | 137.2    | 251.125  |
| D-50   | 91.875   | 202.125  | 138.425  | 139.65   | 121.275  | 40.425   | 41.65    | 45.325   | 94.325   | 84.525   | 95.55    |
| G-90   | 29.4     | 62.475   | 56.35    | 44.1     | 46.55    | 40.425   | 30.625   | 34.3     | 60.025   | 11.025   | 113.925  |
| D-90   | 58.8     | 126.175  | 150.675  | 232.75   | 46.55    | 52.675   | 35.525   | 23.275   | 25.725   | 80.85    | 72.275   |

69

SOL DU SITE 2 DE ST-AUGUSTIN  
 [ NO3+NO2 ] EN mg/L  
 PROFONDEURS: 20 CM, 50 CM ET 90 CM

|        | DATE     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ECHANT | 10/06/91 | 25/06/91 | 08/07/91 | 22/07/91 | 05/08/91 | 19/08/91 | 03/09/91 | 16/09/91 | 30/09/91 | 15/10/91 | 28/10/91 |
| B-20   | *        | 444.675  | 28.175   | 296.45   | 392      | 215.6    | 518.175  | 458.15   | 45.325   | 131.075  | 389.55   |
| T-20   | *        | 431.2    | 715.4    | 333.2    | 341.775  | 401.8    | 697.025  | 458.15   | 606.375  | 68.6     | *        |
| B-50   | *        | 121.275  | 22.05    | 40.425   | 49       | 188.65   | 154.35   | 3.675    | 149.45   | 224.175  | 1133.125 |
| T-50   | *        | 25.725   | 24.5     | 49       | 94.325   | 110.25   | 271.95   | 3.675    | 132.3    | 242.55   | 859.95   |
| B-90   | *        | 51.45    | 33.075   | 22.05    | 42.875   | 28.175   | 23.275   | 25.725   | 22.05    | 75.95    | 131.075  |
| T-90   | *        | 61.25    | 22.05    | 23.275   | 37.975   | 28.175   | 24.5     | 37.975   | 34.3     | 126.175  | 295.225  |

LEGENDE Les lettres G et T signifient [ NO3+NO2 ] pour la fertilisation inorganique et organique.  
 Les lettres D et B signifient [ NO3+NO2 ] pour la fertilisation inorganique seule.  
 Le symbole \* signifie qu'il n'y a pas eu d'échantillonnage.

## ANNEXE A.1.1.1

SOL DU SITE 1 DE ST-AUGUSTIN  
 [NO3+NO2] EN mg/L DANS LA SOLUTION EXTRACTIVE  
 PROFONDEURS: 20 CM, 50 CM ET 90 CM

| ECHANT | DATE     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|        | 10/06/91 | 25/06/91 | 08/07/91 | 22/07/91 | 05/08/91 | 19/08/91 | 03/09/91 | 16/09/91 | 30/09/91 | 15/10/91 | 28/10/91 |
| G-20   | 0.48     | 2.16     | 3.77     | 1.99     | 0.82     | 3.04     | 2.99     | 0.57     | 1.12     | 0.85     | 2.21     |
| D-20   | 1.45     | 2.35     | 2        | 1.37     | 2.37     | 0.91     | 1.29     | 0.76     | 0.55     | 0.65     | 0.996    |
| G-50   | 0.26     | 0.95     | 1.66     | 0.69     | 0.4      | 1.01     | 0.4      | 0.62     | 0.88     | 1.12     | 2.05     |
| D-50   | 0.75     | 1.65     | 1.13     | 1.14     | 0.99     | 0.33     | 0.34     | 0.37     | 0.77     | 0.69     | 0.78     |
| G-90   | 0.24     | 0.51     | 0.46     | 0.36     | 0.38     | 0.33     | 0.25     | 0.28     | 0.49     | 0.09     | 0.93     |
| D-90   | 0.48     | 1.03     | 1.23     | 1.9      | 0.38     | 0.43     | 0.29     | 0.19     | 0.21     | 0.66     | 0.59     |

SOL DU SITE 2 DE ST-AUGUSTIN  
 [NO3+NO2] N mg/L DANS LA SOLUTION EXTRACTIVE  
 PROFONDEURS: 20 CM, 50 CM ET 90 CM

| ECHANT | DATE     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|        | 10/06/91 | 25/06/91 | 08/07/91 | 22/07/91 | 05/08/91 | 19/08/91 | 03/09/91 | 16/09/91 | 30/09/91 | 15/10/91 | 28/10/91 |
| B-20   | *        | 3.63     | 0.23     | 2.42     | 3.2      | 1.76     | 4.23     | 3.74     | 0.37     | 1.07     | 3.18     |
| T-20   | *        | 3.52     | 5.84     | 2.72     | 2.79     | 3.28     | 5.69     | 3.74     | 4.95     | 0.56     | *        |
| B-50   | *        | 0.99     | 0.18     | 0.33     | 0.4      | 1.54     | 1.26     | 0.003    | 1.22     | 1.83     | 9.25     |
| T-50   | *        | 0.21     | 0.2      | 0.4      | 0.77     | 0.9      | 2.22     | 0.003    | 1.08     | 1.98     | 7.02     |
| B-90   | *        | 0.42     | 0.27     | 0.18     | 0.35     | 0.23     | 0.19     | 0.21     | 0.18     | 0.62     | 1.07     |
| T-90   | *        | 0.5      | 0.18     | 0.19     | 0.31     | 0.23     | 0.2      | 0.31     | 0.28     | 1.03     | 2.41     |

LEGENDE Les lettres G et T signifient [ NO3+NO2 ] pour la fertilisation inorganique et organique.  
 Les lettres D et B signifient [ NO3+NO2 ] pour la fertilisation inorganique seule.  
 Le symbole \* signifie qu'il n'y a pas eu d'échantillonnage.

## ANNEXE A.1.2

SOL DU SITE DE ST-LAMBERT  
 [ NO3+NO2 ] EN mg/L  
 PROFONDEURS: 20 CM, 50 CM ET 90 CM

| DOSE    | 0 m3/ha  | DATE     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |  |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| ECHANT  | 03/06/91 | 17/06/91 | 02/07/91 | 15/07/91 | 29/07/91 | 12/08/91 | 26/08/91 | 09/09/91 | 23/09/91 | 07/10/91 | 21/10/91 | 04/11/91 |  |
| A1-20   | 2.2      | 4.29     | 11.16    | 2.71     | 0.39     | 0.1      | 2.16     | 4.37     | 0.54     | *        | 0.94     | 1.45     |  |
| B3-20   | 1.57     | 1.22     | 3.83     | 1.83     | 0.85     | 0.45     | 7.48     | 2.55     | 10.29    | 1.17     | 0.8      | 1.64     |  |
| C4-20   | 1.89     | 0.49     | 1.7      | 0.75     | 0.19     | 0.49     | 0.9      | 0        | 2.74     | 2.38     | 0.57     | 0.43     |  |
| MOY     | 1.886667 | 2        | 5.563333 | 1.763333 | 0.476667 | 0.346667 | 3.513333 | 2.306667 | 4.523333 | 1.775    | 0.77     | 1.17     |  |
| MOY CAL | 231.1167 | 245      | 681.5083 | 216.0083 | 58.39167 | 42.46667 | 430.3833 | 282.5667 | 554.1083 | 217.4375 | 94.325   | 143.325  |  |
| A1-50   | 1.51     | 0.71     | 1.44     | 0.97     | *        | 0.26     | 0.57     | *        | 0.48     | *        | 0.93     | 0.82     |  |
| B3-50   | 1.59     | 1.08     | 0.78     | 0.39     | *        | 0.52     | 0.8      | 0.61     | 0.86     | 0.58     | 2.02     | 3.2      |  |
| C4-50   | 0.67     | 0.59     | 0.46     | 0.29     | *        | 0.34     | 0.33     | *        | 0.34     | *        | 0.56     | *        |  |
| MOY     | 1.256667 | 0.793333 | 0.893333 | 0.55     | *        | 0.373333 | 0.566667 | 0.61     | 0.56     | 0.58     | 1.17     | 2.01     |  |
| MOY CAL | 153.9417 | 97.18333 | 109.4333 | 67.375   | *        | 45.73333 | 69.41667 | 74.725   | 68.6     | 71.05    | 143.325  | 246.225  |  |
| A1-90   | 1.99     | 1.47     | 4.69     | 4.95     | *        | 0.78     | *        | *        | *        | *        | *        | 0.93     |  |
| B3-90   | 1.32     | 1.7      | 1.19     | 0.41     | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.7      |  |
| C4-90   | 0.88     | 2.14     | 1.33     | 0.4      | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.4      |  |
| MOY     | 1.396667 | 1.77     | 2.403333 | 1.92     | *        | 0.78     | *        | *        | *        | *        | *        | 0.68     |  |
| MOY CAL | 171.0917 | 216.825  | 294.4083 | 235.2    | *        | 95.55    | *        | *        | *        | *        | *        | 83.3     |  |

| DOSE    | 30 m3/ha |          |          |          |          |          |          |        |          |          |          |         |  |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|---------|--|
| A5-20   | 2.01     | 3.29     | 2.18     | 1.71     | 0.82     | 1.1      | 0.57     | 0.42   | 0.4      | 1.12     | 0.61     | 0.58    |  |
| B2-20   | 1.4      | 1.81     | 2.71     | 0.67     | 1.58     | 0.43     | 0.52     | 0      | 0.16     | 0.39     | 0.23     | 0.43    |  |
| C1-20   | 2.09     | 1.77     | 0.86     | 0.86     | 0.23     | 1.52     | 0.3      | 0.09   | 0.26     | 1.12     | 0.21     | 0.31    |  |
| MOY     | 1.833333 | 2.29     | 1.916667 | 1.08     | 0.876667 | 1.016667 | 0.463333 | 0.17   | 0.273333 | 0.876667 | 0.35     | 0.44    |  |
| MOY CAL | 224.5833 | 280.525  | 234.7917 | 132.3    | 107.3917 | 124.5417 | 56.75833 | 20.825 | 33.48333 | 107.3917 | 42.875   | 53.9    |  |
| A5-50   | 0.82     | 1.47     | 0.63     | 1.32     | *        | 1.17     | 0.48     | 0.32   | 0.51     | *        | 1        | 1.46    |  |
| B2-50   | 0.51     | 0.57     | 1.2      | 0.6      | *        | 0.26     | 0.54     | *      | 0.19     | *        | 0.16     | 0.27    |  |
| C1-50   | 1.26     | 0.72     | 0.48     | 0.5      | *        | 0.01     | 0.43     | 0.34   | *        | *        | 0.69     | 0.76    |  |
| MOY     | 0.863333 | 0.92     | 0.77     | 0.806667 | *        | 0.48     | 0.483333 | 0.33   | 0.35     | 0.16     | 0.845    | 0.83    |  |
| MOY CAL | 105.7583 | 112.7    | 94.325   | 98.81667 | *        | 58.8     | 59.20833 | 40.425 | 42.875   | 19.6     | 103.5125 | 101.675 |  |
| A5-90   | 0.6      | 0.56     | 0.56     | 0.76     | *        | *        | *        | *      | *        | *        | *        | 0.69    |  |
| B2-90   | 0.45     | 1.01     | 0.7      | 0.45     | *        | *        | *        | *      | 0.24     | *        | *        | 0.57    |  |
| C1-90   | 0.68     | 0.7      | 0.65     | 0.5      | *        | *        | *        | *      | *        | *        | *        | *       |  |
| MOY     | 0.576667 | 0.756667 | 0.636667 | 0.57     | *        | *        | *        | *      | 0.24     | *        | *        | 0.63    |  |
| MOY CAL | 70.64167 | 92.69167 | 77.99167 | 69.825   | *        | *        | *        | *      | 29.4     | *        | *        | 77.175  |  |

| DOSE    | 60 m3/ha |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |  |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--|
| A4-20   | 0.79     | 27.02    | 1.48     | 1.31     | 3.02     | 0.49     | 0.2      | 0.11     | 0.3      | 1.62     | 0.13     | 0.41    |  |
| B5-20   | 0.65     | 0.89     | 0.99     | 1.21     | 0.42     | 0.52     | 0.35     | 0.05     | 0.16     | 0.15     | 0.56     | 0.42    |  |
| C5-20   | 1.58     | 1        | 2.61     | 2.35     | 5.51     | 4.98     | 1.11     | 0.19     | 0.19     | 1.82     | 0.88     | 0.37    |  |
| MOY     | 1.006667 | 9.636667 | 1.693333 | 1.623333 | 2.983333 | 1.996667 | 0.553333 | 0.116667 | 0.216667 | 1.196667 | 0.523333 | 0.4     |  |
| MOY CAL | 123.3167 | 1180.492 | 207.4333 | 198.8583 | 365.4583 | 244.5917 | 67.78333 | 14.29167 | 26.54167 | 146.5917 | 64.10833 | 49      |  |
| A4-50   | 0.38     | 2.57     | 0.87     | 0.62     | 0.51     | 0.58     | 0.23     | 0.3      | 0.64     | *        | 0.2      | 0.58    |  |
| B5-50   | 0.66     | 0.58     | 0.63     | 0.49     | 0.43     | 0.37     | 0.28     | *        | 0.32     | *        | 0.67     | 0.33    |  |
| C5-50   | 1.74     | 1.16     | 1.41     | 0.37     | *        | *        | 0.24     | *        | *        | *        | *        | 0.51    |  |
| MOY     | 0.926667 | 1.436667 | 0.97     | 0.493333 | 0.255    | 0.475    | 0.25     | 0.3      | 0.48     | *        | 0.435    | 0.47    |  |
| MOY CAL | 113.5167 | 175.9917 | 118.825  | 60.43333 | 31.2375  | 58.1875  | 30.625   | 36.75    | 58.8     | *        | 53.2875  | 57.575  |  |
| A4-90   | 0.41     | 1.35     | 0.57     | 0.4      | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.83    |  |
| B5-90   | 0.77     | 0.98     | 0.92     | 0.51     | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *       |  |
| C5-90   | 1.25     | 1.24     | 1.45     | 0.56     | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *       |  |
| MOY     | 0.81     | 1.19     | 0.98     | 0.49     | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.83    |  |
| MOY CAL | 99.225   | 145.775  | 120.05   | 60.025   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 101.675 |  |

SUITE ANNEXE A.1.2

DOSE: 90 m3/ha

|         |          |          |          |          |        |          |         |         |          |          |          |         |
|---------|----------|----------|----------|----------|--------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|
| A3-20   | 1.25     | 8.26     | 2.78     | 0.84     | 1.17   | 0.69     | 0.28    | 0.17    | 0.39     | 0.53     | 0.75     | 0.45    |
| B4-20   | 2.41     | 1.07     | 2.04     | 3.56     | 0.63   | 3.19     | 0.59    | 2.9     | 2.13     | 0.59     | 2.9      | 1.38    |
| C2-20   | 2.07     | 1.02     | 7.26     | 1.56     | 2.52   | 1.22     | 2.37    | 0.92    | 0.53     | 0.42     | 6.39     | 1.62    |
| MOY     | 1.91     | 3.45     | 4.026667 | 1.986667 | 1.44   | 1.7      | 1.08    | 1.33    | 1.016667 | 0.513333 | 3.346667 | 1.15    |
| MOY CAL | 233.975  | 422.625  | 493.2667 | 243.3667 | 176.4  | 208.25   | 132.3   | 162.925 | 124.5417 | 62.88333 | 409.9667 | 140.875 |
| A3-50   | 0.53     | 5.21     | 1        | 0.23     | 0.39   | 0.27     | 0.43    | 0.26    | 0.34     | 0.45     | 0.79     | 0.28    |
| B4-50   | 1.05     | 0.75     | 1.04     | 0.83 *   | 0.83 * | 0.83 *   | 0.79 *  | 0.79 *  | *        | *        | 0.7      | 1.11    |
| C2-50   | 1.17     | 1.12     | 2.39     | 2.01 *   | 0.84   | 0.59     | 1.53 *  | *       | *        | 2.87     | 3.83     |         |
| MOY     | 0.916667 | 2.36     | 1.476667 | 1.023333 | 0.39   | 0.646667 | 0.495   | 0.495   | 0.34     | 0.45     | 1.453333 | 1.74    |
| MOY CAL | 112.2917 | 289.1    | 180.8917 | 125.3583 | 47.775 | 79.21667 | 60.6375 | 60.6375 | 41.65    | 55.125   | 178.0333 | 213.15  |
| A3-90   | 0.56     | 1.81     | 0.89     | 0.33 *   | *      | *        | *       | *       | *        | 0.31 *   | *        | 0.52    |
| B4-90   | 1.32     | 0.69     | 1.99     | 1.23 *   | *      | *        | *       | *       | *        | *        | *        | *       |
| C2-90   | 1.16     | 1.45     | 2.11     | 1.74 *   | *      | *        | *       | *       | *        | *        | *        | 2.01    |
| MOY     | 1.013333 | 1.316667 | 1.663333 | 1.1 *    | *      | *        | *       | *       | *        | 0.31 *   | *        | 1.26    |
| MOY CAL | 124.1333 | 161.2917 | 203.7583 | 134.75 * | *      | *        | *       | *       | *        | 37.975 * | *        | 154.35  |

DOSE: 120 m3/ha

|         |          |          |          |            |          |        |          |          |          |          |          |        |
|---------|----------|----------|----------|------------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| A2-20   | *        | 9.63     | 11       | 0.79       | 2.03     | 5.24   | 1.37     | 0        | 0.22     | 1.39     | 3.36     | 2.18   |
| B1-20   | 1.67     | 3.08     | 4.32     | 2.48       | 1.27     | 0.75   | 0.88     | 0.31     | 0.16     | 0.7      | 0.24 *   | *      |
| C3-20   | 14.87    | 1.77     | 1.3      | 9.64       | 1.63     | 0.49   | 6.97     | 3.24     | 0.51     | 0.29     | 1.39     | 2.43   |
| MOY     | 8.27     | 4.826667 | 5.54     | 4.303333   | 1.643333 | 2.16   | 3.073333 | 1.183333 | 0.296667 | 0.793333 | 1.663333 | 2.3    |
| MOY CAL | 1013.075 | 591.2667 | 678.65   | 527.1583   | 201.3083 | 264.6  | 376.4833 | 144.9583 | 36.34167 | 97.18333 | 203.7583 | 281.75 |
| A2-50   | 1.03     | 1.81     | 1.86     | 1.14 *     | 0.89 *   | *      | *        | 0.29     | 0.6      | 0.75     | 0.64     |        |
| B1-50   | 1.06     | 0.92     | 0.6      | 0.2 *      | 0.21     | 0.36 * | *        | 0.42 *   | *        | *        | 0.5      |        |
| C3-50   | 2.46     | 1.34     | 0.84     | 1.11 *     | 0.81 *   | *      | *        | 0.5      | 0.6      | 0.88     | 0.87     |        |
| MOY     | 1.516667 | 1.356667 | 1.1      | 0.816667 * | 0.636667 | 0.36 * | 0.403333 | 0.6      | 0.815    | 0.67     |          |        |
| MOY CAL | 185.7917 | 166.1917 | 134.75   | 100.0417 * | 77.99167 | 44.1 * | 49.40833 | 73.5     | 99.8375  | 82.075   |          |        |
| A2-90   | 1.51     | 5.46     | 1.44     | 1 *        | *        | *      | *        | *        | *        | *        | *        | *      |
| B1-90   | 0.67     | 0.77     | 0.91     | 0.68 *     | *        | *      | *        | *        | *        | *        | *        | *      |
| C3-90   | 2.64     | 0.85     | 1.29     | 1.58 *     | *        | *      | *        | *        | *        | *        | *        | *      |
| MOY     | 1.606667 | 2.36     | 1.213333 | 1.086667 * | *        | *      | *        | *        | *        | *        | *        | *      |
| MOY CAL | 196.8167 | 289.1    | 148.6333 | 133.1167 * | *        | *      | *        | *        | *        | *        | *        | *      |

LEGENDE: Le symbole \* signifie qu'il n'y a pas eu d'échantillonnage.

MOY signifie la moyenne des concentrations obtenues dans la solution extractive.

MOY CAL signifie la moyenne calculée en mg de nitrates par litre d'eau.

## ANNEXE A.1.3

SOL DU SITE 1 DE ST-AUGUSTIN

[ NH4+ ] EN mg/L

PROFONDEURS: 20 CM, 50 CM ET 90 CM

| ECHANT | DATE     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|        | 10/06/91 | 25/06/91 | 08/07/91 | 22/07/91 | 05/08/91 | 19/08/91 | 03/09/91 | 16/09/91 | 30/09/91 | 15/10/91 |
| G-20   | 85.75    | 153.125  | 71.05    | 9.8      | 42.875   | 23.275   | 23.275   | 20.825   | 17.15    | 39.2     |
| D-20   | 94.325   | 142.1    | 45.325   | 17.15    | 49       | 26.95    | 29.4     | 22.05    | 13.475   | 23.275   |
| G-50   | 77.175   | 73.5     | 71.05    | 14.7     | 37.975   | 22.05    | 20.825   | 18.375   | 18.375   | 34.3     |
| D-50   | 80.85    | 147      | 55.125   | 8.575    | 52.675   | 24.5     | 25.725   | 24.5     | 11.025   | 29.4     |
| G-90   | 68.6     | 101.675  | 41.65    | 12.25    | 39.2     | 17.15    | 20.825   | 13.475   | 13.475   | 36.75    |
| D-90   | 63.7     | 117.6    | 50.225   | 90.65    | 30.625   | 19.6     | 18.375   | 24.5     | 11.025   | 23.275   |

73

SOL DU SITE 2 DE ST-AUGUSTIN

[ NH4+ ] EN mg/L

PROFONDEURS: 20 CM, 50 CM ET 90 CM

| ECHANT | DATE     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|        | 10/06/91 | 25/06/91 | 08/07/91 | 22/07/91 | 05/08/91 | 19/08/91 | 03/09/91 | 16/09/91 | 30/09/91 | 15/10/91 |
| B-20   | *        | 134.75   | 88.2     | 18.375   | 40.425   | 25.725   | 33.075   | 13.475   | 39.2     | 30.625   |
| T-20   | *        | 247.45   | 115.15   | 55.125   | 106.575  | 34.3     | 42.875   | 37.975   | 30.625   | 31.85    |
| B-50   | *        | 106.575  | 56.35    | 25.725   | 40.425   | 28.175   | 34.3     | 24.5     | 41.65    | 35.525   |
| T-50   | *        | 129.85   | 67.375   | 19.6     | 44.1     | 42.875   | 31.85    | 18.375   | 23.275   | 36.75    |
| B-90   | *        | 100.45   | 50.225   | 12.25    | 31.85    | 19.6     | 22.05    | 22.05    | 22.05    | 34.3     |
| T-90   | *        | 144.55   | 63.7     | 14.7     | 49       | 22.05    | 29.4     | 15.925   | 14.7     | 29.4     |

LEGENDE Les lettres G et T signifient [ NH4+ ] pour la fertilisation inorganique et organique.

Les lettres D et B signifient [ NH4+ ] pour la fertilisation inorganique seule.

Le symbole \* signifie qu'il n'y a pas eu d'échantillonnage.

## ANNEXE A.1.3.1

SOL DU SITE 1 DE ST-AUGUSTIN  
 [NH<sub>4</sub><sup>+</sup>] EN mg/L DANS LA SOLUTION EXTRACTIVE  
 PROFONDEURS: 20 CM, 50 CM ET 90 CM

|        | DATE     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ECHANT | 10/06/91 | 25/06/91 | 08/07/91 | 22/07/91 | 05/08/91 | 19/08/91 | 03/09/91 | 16/09/91 | 30/09/91 | 15/10/91 |
| G-20   | 0.7      | 1.25     | 0.58     | 0.08     | 0.35     | 0.19     | 0.19     | 0.17     | 0.14     | 0.32     |
| D-20   | 0.77     | 1.16     | 0.37     | 0.14     | 0.4      | 0.22     | 0.24     | 0.18     | 0.11     | 0.19     |
| G-50   | 0.63     | 0.6      | 0.58     | 0.12     | 0.31     | 0.18     | 0.17     | 0.15     | 0.15     | 0.28     |
| D-50   | 0.66     | 1.2      | 0.45     | 0.07     | 0.43     | 0.2      | 0.21     | 0.2      | 0.09     | 0.24     |
| G-90   | 0.56     | 0.83     | 0.34     | 0.1      | 0.32     | 0.14     | 0.17     | 0.11     | 0.11     | 0.3      |
| D-90   | 0.52     | 0.96     | 0.41     | 0.74     | 0.25     | 0.16     | 0.15     | 0.2      | 0.09     | 0.19     |

74

SOL DU SITE 2 DE ST-AUGUSTIN  
 [NH<sub>4</sub><sup>+</sup>] EN mg/L DANS LA SOLUTION EXTRACTIVE  
 PROFONDEURS: 20 CM, 50 CM ET 90 CM

|        | DATE     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ECHANT | 10/06/91 | 25/06/91 | 08/07/91 | 22/07/91 | 05/08/91 | 19/08/91 | 03/09/91 | 16/09/91 | 30/09/91 | 15/10/91 |
| B-20   | *        | 1.1      | 0.72     | 0.15     | 0.33     | 0.21     | 0.27     | 0.11     | 0.32     | 0.25     |
| T-20   | *        | 2.02     | 0.94     | 0.45     | 0.87     | 0.28     | 0.35     | 0.31     | 0.25     | 0.26     |
| B-50   | *        | 0.87     | 0.46     | 0.21     | 0.33     | 0.23     | 0.28     | 0.2      | 0.34     | 0.29     |
| T-50   | *        | 1.06     | 0.55     | 0.16     | 0.66     | 0.35     | 0.26     | 0.15     | 0.19     | 0.3      |
| B-90   | *        | 0.82     | 0.41     | 0.1      | 0.26     | 0.16     | 0.18     | 0.18     | 0.18     | 0.28     |
| T-90   | *        | 1.18     | 0.52     | 0.12     | 0.4      | 0.18     | 0.24     | 0.13     | 0.12     | 0.24     |

LEGENDE Les lettres G et T signifient [ NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ] pour la fertilisation inorganique et organique.  
 Les lettres D et B signifient [ NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ] pour la fertilisation inorganique seule.  
 Le symbole \* signifie qu'il n'y a pas eu d'échantillonnage.

## ANNEXE A.1.4

SOL DU SITE DE ST-LAMBERT

[ NH4+ ] EN mg/L

PROFONDEURS: 20 CM, 50 CM ET 90 CM

DOSE: 0 m3/ha

| DATE    | 03/06/91 | 17/06/91 | 02/07/91 | 15/07/91 | 29/07/91 | 12/08/91 | 26/08/91 | 09/09/91 | 23/09/91 | 07/10/91 | 21/10/91 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ECHANT  |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| A1-20   | 0.9      | 0.34     | 0.74     | 0.48     | 0.34     | 0.29     | 0.32     | 0.54     | 0.12     | *        | 0.19     |
| B3-20   | 0.64     | 1.38     | 0.6      | 1.17     | 0.4      | 0.3      | 0.35     | 0.45     | 0.33     | 0.36     | 0.42     |
| C4-20   | 1.12     | 0.38     | 0.63     | 0.16     | 0.28     | 0.32     | 0.32     | 0.28     | 0.23     | 0.31     | 0.3      |
| MOY     | 0.886667 | 0.7      | 0.656667 | 0.603333 | 0.34     | 0.303333 | 0.33     | 0.423333 | 0.226667 | 0.335    | 0.303333 |
| MOY CAL | 108.6167 | 85.75    | 80.44167 | 73.90833 | 41.65    | 37.15833 | 40.425   | 51.85833 | 27.76667 | 41.0375  | 37.15833 |
| A1-50   | 0.8      | 0.53     | 0.35     | 0.42     | *        | 0.49     | 0.32     | *        | 0.14     | 0.16     | 0.21     |
| B3-50   | 0.61     | 0.61     | 0.3      | 0.28     | *        | 0.24     | 0.27     | 0.28     | 0.18     | 0.21     | 0.09     |
| C4-50   | 0.73     | 0.69     | 0.25     | 0.41     | *        | 0.46     | 0.3      | *        | 0.14     | *        | 0.08     |
| MOY     | 0.713333 | 0.61     | 0.3      | 0.37     | *        | 0.396667 | 0.296667 | 0.28     | 0.153333 | 0.185    | 0.126667 |
| MOY CAL | 87.38333 | 74.725   | 36.75    | 45.325   | *        | 48.59167 | 36.34167 | 34.3     | 18.78333 | 22.6625  | 15.51667 |
| A1-90   | 1.03     | 0.23     | 0.38     | 0.34     | *        | 0.45     | *        | *        | *        | *        | *        |
| B3-90   | 0.85     | 1.78     | 0.45     | 0.15     | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| C4-90   | 0.72     | 5.44     | 0.3      | 0.17     | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| MOY     | 0.866667 | 2.483333 | 0.376667 | 0.22     | *        | 0.45     | *        | *        | *        | *        | *        |
| MOY CAL | 106.1667 | 304.2083 | 46.14167 | 26.95    | *        | 55.125   | *        | *        | *        | *        | *        |

DOSE: 30 m3/ha

|         |          |          |          |          |          |        |          |          |          |        |          |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|
| A5-20   | 1.14     | 0.48     | 0.53     | 1.49     | 0.47     | 0.27   | 0.4      | 0.51     | 0.33     | 0.38   | 0.47     |
| B2-20   | 1.22     | 0.83     | 0.54     | 0.51     | 0.41     | 0.4    | 0.36     | 0.53     | 0.28     | 0.3    | 0.15     |
| C1-20   | 0.79     | 8.76     | 0        | 0.24     | 0.31     | 0.38   | 0.32     | 0.44     | 0.25     | 0.31   | 0.27     |
| MOY     | 1.05     | 3.356667 | 0.356667 | 0.746667 | 0.396667 | 0.35   | 0.36     | 0.493333 | 0.286667 | 0.33   | 0.296667 |
| MOY CAL | 128.625  | 411.1917 | 43.69167 | 91.46667 | 48.59167 | 42.875 | 44.1     | 60.43333 | 35.11667 | 40.425 | 36.34167 |
| A5-50   | 0.69     | 0.2      | 0.54     | 0.69     | 0.32     | 0.42   | 0.24     | 0.24     | 0.11     | *      | 0.23     |
| B2-50   | 0.52     | 0.32     | 0.32     | 0.21     | *        | 0.36   | 0.32     | *        | 0.16     | 0.19   | *        |
| C1-50   | 1.09     | 0.96     | 0.31     | 0.37     | *        | 0.45   | 0.27     | 0.27     | *        | *      | 0.18     |
| MOY     | 0.766667 | 0.493333 | 0.39     | 0.423333 | 0.32     | 0.41   | 0.276667 | 0.255    | 0.14     | 0.19   | 0.205    |
| MOY CAL | 93.91667 | 60.43333 | 47.775   | 51.85833 | 39.2     | 50.225 | 33.89167 | 31.2375  | 17.15    | 23.275 | 25.1125  |
| A5-90   | 0.54     | 0.15     | 0.44     | 0.48     | *        | *      | *        | *        | *        | *      | *        |
| B2-90   | 0.62     | 0.2      | 0.24     | 0.36     | *        | *      | *        | *        | 0.17     | *      | *        |
| C1-90   | 0.93     | 0.3      | 0.29     | 0.21     | *        | *      | *        | *        | *        | *      | *        |
| MOY     | 0.696667 | 0.216667 | 0.323333 | 0.35     | *        | *      | *        | *        | 0.17     | *      | *        |
| MOY CAL | 85.34167 | 26.54167 | 39.60833 | 42.875   | *        | *      | *        | *        | 20.825   | *      | *        |

DOSE: 60 m3/ha

|         |          |          |          |          |        |        |          |        |          |        |          |
|---------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|
| A4-20   | 0.7      | 2.11     | 0.75     | 0.47     | 0.64   | 0.54   | 0.22     | 0.48   | 0.28     | 0.37   | 0.4      |
| B5-20   | 0.73     | 1.12     | 0.52     | 0.36     | 0.39   | 0.36   | 0.33     | 0.38   | 0.22     | 0.3    | 0.38     |
| C5-20   | 0.69     | 1.51     | 0.52     | 0.16     | 0.32   | 0.3    | 0.17     | 0.31   | 0.24     | 0.14   | 0.14     |
| MOY     | 0.706667 | 1.58     | 0.596667 | 0.33     | 0.45   | 0.4    | 0.24     | 0.39   | 0.246667 | 0.27   | 0.306667 |
| MOY CAL | 86.56667 | 193.55   | 73.09167 | 40.425   | 55.125 | 49     | 29.4     | 47.775 | 30.21667 | 33.075 | 37.56667 |
| A4-50   | 0.67     | 0.72     | 0.46     | 0.13     | 0.15   | 0.35   | 0.39     | 0.29   | 0.2      | *      | 0.12     |
| B5-50   | 0.83     | 0.37     | 0.42     | 0.15     | 0.12   | 0.34   | 0.31     | *      | 0.15     | *      | 0.23     |
| C5-50   | 0.88     | 0.42     | 0.22     | 0.09     | *      | *      | 0.15     | *      | *        | *      | *        |
| MOY     | 0.793333 | 0.503333 | 0.366667 | 0.123333 | 0.09   | 0.23   | 0.283333 | 0.29   | 0.175    | *      | 0.175    |
| MOY CAL | 97.18333 | 61.65833 | 44.91667 | 15.10833 | 11.025 | 28.175 | 34.70833 | 35.525 | 21.4375  | *      | 21.4375  |
| A4-90   | 0.53     | 0.16     | 0.18     | 0.28     | *      | *      | *        | *      | *        | *      | *        |
| B5-90   | 0.86     | 0.37     | 0.22     | 0.15     | *      | *      | *        | *      | *        | *      | *        |
| C5-90   | 0.61     | 0.39     | 0.18     | 0.14     | *      | *      | *        | *      | *        | *      | *        |
| MOY     | 0.666667 | 0.306667 | 0.193333 | 0.19     | *      | *      | *        | *      | *        | *      | *        |
| MOY CAL | 81.66667 | 37.56667 | 23.68333 | 23.275   | *      | *      | *        | *      | *        | *      | *        |

SUITE ANNEXE A.1.4

DOSE: 90 m3/ha

|         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| A3-20   | 0.91     | 7.25     | 0.55     | 0.5      | 0.96     | 0.44     | 0.37     | 0.41     | 0.29     | 0.4      | 0.43     |
| B4-20   | 0.85     | 1.43     | 0.56     | 1.68     | 0.33     | 0.036    | 0.34     | 0.35     | 0.26     | 0.3      | 0.45     |
| C2-20   | 0.74     | 3.06     | 0.86     | 0.39     | 0.43     | 0.38     | 0.35     | 0.45     | 0.46     | 0.22     | 0.36     |
| MOY     | 0.833333 | 3.913333 | 0.656667 | 0.856667 | 0.573333 | 0.285333 | 0.353333 | 0.403333 | 0.336667 | 0.306667 | 0.413333 |
| MOY CAL | 102.0833 | 479.3833 | 80.44167 | 104.9417 | 70.23333 | 34.95333 | 43.28333 | 49.40833 | 41.24167 | 37.56667 | 50.63333 |
| A3-50   | 0.82     | 1.87     | 0.49     | 0.15     | 0.18     | 0.46     | 0.33     | 0.32     | 0.15     | 0.1      | 0.19     |
| B4-50   | 0.85     | 1.16     | 0.24     | 0.17     | *        | 0.49     | *        | 0.23     | *        | *        | 0.16     |
| C2-50   | 0.77     | 0.37     | 0.36     | 0.32     | *        | 0.35     | 0.32     | 0.3      | *        | *        | 0.2      |
| MOY     | 0.813333 | 1.133333 | 0.363333 | 0.213333 | 0.18     | 0.433333 | 0.325    | 0.283333 | 0.15     | 0.1      | 0.183333 |
| MOY CAL | 99.63333 | 138.8333 | 44.50833 | 26.13333 | 22.05    | 53.08333 | 39.8125  | 34.70833 | 18.375   | 12.25    | 22.45833 |
| A3-90   | 1.34     | 1.24     | 0.26     | 0.17     | *        | *        | *        | *        | *        | 0.1      | *        |
| B4-90   | 1.09     | 1.6      | 0.32     | 0.17     | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| C2-90   | 1.12     | 0.33     | 0.21     | 0.19     | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| MOY     | 1.183333 | 1.056667 | 0.263333 | 0.176667 | *        | *        | *        | *        | *        | 0.1      | *        |
| MOY CAL | 144.9583 | 129.4417 | 32.25833 | 21.64167 | *        | *        | *        | *        | *        | 12.25    | *        |

DOSE: 120 M3/HA

|         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |          |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| A2-20   | 0.94     | 10.91    | 1.11     | 0.31     | 0.24     | 0.37     | 0.24     | 0.56     | 0.86     | 0.25    | 0.4      |
| B1-20   | 0.96     | 5.02     | 0.82     | 0.51     | 0.34     | 0.38     | 0.32     | 0.37     | 0.24     | 0.21    | 0.56     |
| C3-20   | 5.05     | 0.5      | 0.49     | 0.21     | 0.19     | 0.45     | 0.33     | 0.35     | 0.26     | 0.2     | 0.2      |
| MOY     | 2.316667 | 5.476667 | 0.806667 | 0.343333 | 0.256667 | 0.4      | 0.296667 | 0.426667 | 0.453333 | 0.22    | 0.386667 |
| MOY CAL | 283.7917 | 670.8917 | 98.81667 | 42.05833 | 31.44167 | 49       | 36.34167 | 52.26667 | 55.53333 | 26.95   | 47.36667 |
| A2-50   | 1.03     | 1.55     | 0.39     | 0.4      | *        | 0.45     | *        | *        | 0.38     | 0.1     | 0.26     |
| B1-50   | 1.24     | 0.83     | 0.36     | 0.11     | *        | 0.2      | 0.32     | *        | 0.17     | *       | *        |
| C3-50   | 1.42     | 0.32     | 0.3      | 0.36     | *        | 0.38     | *        | *        | 0.14     | 0.25    | 0.29     |
| MOY     | 1.23     | 0.9      | 0.35     | 0.29     | *        | 0.343333 | 0.32     | *        | 0.23     | 0.175   | 0.27     |
| MOY CAL | 150.675  | 110.25   | 42.875   | 35.525   | *        | 42.05833 | 39.2     | *        | 28.175   | 21.4375 | 33.075   |
| A2-90   | 0.71     | 0.95     | 0.34     | 0.2      | *        | *        | *        | *        | *        | *       | *        |
| B1-90   | 0.65     | 0.45     | 0.28     | 0.32     | *        | 0.37     | *        | *        | *        | *       | *        |
| C3-90   | 1.32     | 0.46     | 0.19     | 0.44     | *        | *        | *        | *        | *        | *       | *        |
| MOY     | 0.893333 | 0.62     | 0.27     | 0.32     | *        | 0.37     | *        | *        | *        | *       | *        |
| MOY CAL | 109.4333 | 75.95    | 33.075   | 39.2     | *        | 45.325   | *        | *        | *        | *       | *        |

LEGENDE Le symbole \* signifie qu'il n'y a pas eu d'échantillonnage.

MOY signifie la moyenne des concentrations obtenues dans la solution extractive.

MOY CAL signifie la moyenne calculée en mg par litre d'eau.

## ANNEXE A.1.5

## EAU DU SITE 1 DE ST-AUGUSTIN

[ NO3+ NO2 ] EN mg/L

PROFONDEURS: 50 CM, 100 CM ET 150 CM

| ECHANT  | DATE     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|         | 11/06/91 | 26/06/91 | 09/07/91 | 23/07/91 | 06/08/91 | 20/08/91 | 04/09/91 | 17/09/91 | 01/10/91 | 16/10/91 | 29/10/91 | 12/11/91 |
| 1-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| 2-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| 3-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| 4-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.16     | 0.07     |
| 5-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| 6-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.49     | 0.47     |
| 7-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| 8-50    | 7.14     | 36.29    | 41.07    | *        | *        | *        | 33.18    | *        | 17.19    | 5.23     | 10       | 8.03     |
| 9-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.1      | 0.14     | *        |
| 10-50   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.37     | 0.1      | 0.03     | 0.1      | 0.25     | 0.27     |
| 11-50   | 16.27    | *        | *        | *        | *        | *        | 16.05    | 24.87    | 0.31     | 0.53     | 1.31     | *        |
| 12-50   | 17.63    | *        | *        | *        | *        | *        | 29.59    | *        | 26.68    | *        | 16.28    | 26.68    |
| MED FI  | 16.95    | *        | *        | *        | *        | *        | 14.98    | 12.48    | 13.35    | 0.315    | 8.26     | 4.62     |
| MED FIO | 7.14     | 36.29    | 41.07    | *        | *        | *        | 33.18    | *        | 17.19    | 2.665    | 5.07     | 4.05     |

|         |       |       |      |       |       |       |       |        |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 1-100   | *     | *     | 3.82 | *     | 5.29  | 5.61  | 5.63  | *      | 5.26  | *     | 7.63  | 4.21  |
| 2-100   | *     | *     | *    | *     | *     | *     | *     | *      | *     | *     | 28.74 | *     |
| 3-100   | 1.23  | *     | *    | *     | *     | *     | *     | *      | *     | *     | 0.14  | 0.09  |
| 4-100   | *     | *     | *    | *     | *     | *     | *     | *      | *     | *     | 0.32  | 0.02  |
| 5-100   | *     | *     | *    | *     | *     | *     | *     | *      | *     | *     | 3.85  | *     |
| 6-100   | *     | *     | *    | *     | *     | *     | *     | *      | *     | *     | 0.21  | *     |
| 7-100   | 0.74  | 0.16  | 0.11 | 0.15  | 0.21  | 0.64  | 0.58  | 0.16   | 0.08  | *     | 0.09  | 0.03  |
| 8-100   | 10.9  | 15.88 | *    | *     | 23.71 | 25.81 | 26.93 | 22.69  | *     | 17.64 | 21.57 | *     |
| 9-100   | *     | *     | *    | *     | *     | *     | *     | *      | *     | *     | 0.14  | *     |
| 10-100  | 7.3   | 9.26  | *    | 16.22 | 3.79  | 3.82  | 1.38  | 0.95   | *     | *     | 30.91 | 24.35 |
| 11-100  | 13.53 | 5.78  | *    | 9.76  | 16.63 | 23.76 | *     | 25.3   | 26.25 | 22    | 26.28 | 10.17 |
| 12-100  | 16.81 | 21.36 | *    | *     | *     | 25.14 | 21.56 | *      | 27.04 | 25.24 | 22.26 | 15.7  |
| MED FI  | 9.02  | 13.57 | 3.82 | 12.99 | 10.21 | 14.48 | 11.47 | 13.125 | 16.15 | 23.62 | 15.52 | 12.22 |
| MED FIO | 5.82  | 8.02  | 0.11 | 0.15  | 11.96 | 13.22 | 13.75 | 11.425 | 0.08  | 17.64 | 10.83 | 0.025 |

|         |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4-150   | 0.04 | *     | 0.05 | 0.07  | 0.09  | 0.07  | 0.07  | *     | 28.62 | 0.04  | 0.28  | 0.02  |
| 5-150   | 8.48 | 15.74 | 18.3 | 15.02 | 17.25 | 20.32 | 20.41 | 21.41 | 17.15 | 29.26 | 35.51 | 27.84 |
| 6-150   | 0.04 | 0.1   | *    | *     | *     | 0.16  | *     | *     | 21.86 | 0.02  | *     | *     |
| 7-150   | 0.6  | 0.1   | 0.05 | 1.34  | 0.07  | 0.3   | 0.49  | 0.36  | 0.5   | 12.29 | 0.46  | 0.42  |
| 8-150   | 5.54 | 0.75  | *    | 10.15 | 11.24 | 13.06 | 12.79 | 12.07 | 6.24  | *     | 17.83 | 16.15 |
| 9-150   | 0.58 | 0.29  | *    | 0.46  | 0.49  | 0.45  | 0.12  | 0.14  | 0.08  | *     | *     | 0.03  |
| MED FIO | 4.26 | 7.92  | 9.17 | 7.54  | 8.66  | 10.19 | 10.24 | 10.77 | 14.35 | 14.64 | 17.89 | 13.93 |

LEGENDE MED FI signifie valeur médiane pour la fertilisation inorganique seule.

MED FIO signifie valeur médiane pour la fertilisation inorganique et organique.

Le symbole \* signifie qu'il n'y a pas eu d'échantillonnage.

## ANNEXE A.1.6

EAU DU SITE 2 DE ST-AUGUSTIN  
[ NO3+NO2 ] EN mg/L  
PROFONDEURS: 30 CM, 55 CM, 80 CM, ET 105 CM

| ECHANT  | DATE | 11/06/91 | 26/06/91 | 09/07/91 | 23/07/91 | 06/08/91 | 20/08/91 | 04/09/91 | 17/09/91 | 01/10/91 | 16/10/91 | 29/10/91 | 12/11/91 |
|---------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| B1-30   | *    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 134.39   | 83.32    | 40.12    | 51.33    | *        |
| B2-30   | *    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| B3-30   | *    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 127.73   | 75.33    | 75.39    | *        |
| B4-30   | *    | *        | *        | *        | *        | *        | 131.68   | 165.6    | 174.81   | 214.91   | 114.78   | 113.48   | 70.98    |
| B5-30   | *    | *        | *        | 49.93    | **       | *        | 86.97    | 108.75   | 131.02   | 159.6    | 65.46    | 26.47    | *        |
| B6-30   | *    | *        | *        | *        | *        | *        | 106.84   | 449.07   | 196.63   | 195.9    | 39.07    | 38.9     | 31.51    |
| B7-30   | *    | *        | *        | *        | *        | *        | 110.23   | 297.05   | 229.47   | 252.15   | 63.24    | 51.33    | *        |
| B8-30   | *    | *        | *        | 37.43    | 61.61    | *        | 104.93   | 125.32   | 165.98   | 155.52   | 89.36    | 73.38    | 55.85    |
| B9-30   | *    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 139.89   | 139.27   | 36.74    | 41.2     | *        |
| B10-30  | *    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| B11-30  | *    | *        | *        | *        | 103.73   | *        | *        | 736.01   | *        | 209.97   | 148.12   | 91.71    | *        |
| B12-30  | *    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 147.56   | 47.14    | 27.57    | *        |
| MED FI  | *    | *        | *        | 49.93    | *        | *        | 109.32   | 278.91   | 163.82   | 149.11   | 76.92    | 69.97    | 51.24    |
| MED FIO | *    | *        | *        | 37.43    | 82.67    | *        | 107.58   | 430.66   | 184.68   | 195.71   | 92.43    | 59.84    | 55.85    |

|         |   |   |   |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
|---------|---|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| B1-55   | * | * | * | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *      | *      | 36.49  |
| B2-55   | * | * | * | 36.05 | *     | *     | *     | *     | *     | 31.96 | 74.08  | *      | 230.98 |
| B3-55   | * | * | * | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *     | 10.75  | 44.94  | *      |
| B4-55   | * | * | * | *     | *     | 36.08 | 40.68 | 42.38 | 38.42 | 73.99 | 148.77 | 145.74 | *      |
| B5-55   | * | * | * | 45.09 | *     | *     | *     | *     | *     | 52.54 | 74.96  | 122.82 | 122.41 |
| B6-55   | * | * | * | 16.09 | *     | *     | *     | *     | *     | 39.61 | 19.04  | 41.21  | 59.39  |
| B7-55   | * | * | * | *     | *     | *     | *     | *     | *     | 51.19 | *      | *      | *      |
| B8-55   | * | * | * | 54.91 | *     | 39.22 | 37.09 | *     | *     | 19.46 | 99.57  | 185.03 | 168.97 |
| B9-55   | * | * | * | 40.56 | *     | *     | *     | *     | *     | *     | 38.58  | 132.71 | 135.54 |
| B10-55  | * | * | * | 41.58 | 43.3  | 42.34 | 38.1  | 35.23 | 45.12 | 62.28 | 118.27 | 110.1  | *      |
| B11-55  | * | * | * | 41.45 | 61.18 | 52.23 | 46.07 | *     | *     | 68.07 | 122.82 | 121.4  | *      |
| B12-55  | * | * | * | 35.43 | 49.45 | *     | *     | *     | *     | 51.49 | 115.54 | *      | *      |
| MED FI  | * | * | * | 30.59 | *     | 36.08 | 40.68 | 42.38 | 42.25 | 42.85 | 94.99  | 133.73 | *      |
| MED FIO | * | * | * | 45.17 | 52.24 | 45.72 | 41.58 | 35.23 | 35.32 | 69.07 | 150.28 | 139.53 | *      |

|         |   |   |   |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |
|---------|---|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| B1-80   | * | * | * | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *      | *      |
| B2-80   | * | * | * | 8.99  | 12.85 | 13.17 | 16.03 | 12.99 | 17.24 | 45.5  | *     | *      | 76.46  |
| B3-80   | * | * | * | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *     | 32.47  | *      |
| B4-80   | * | * | * | *     | *     | 22.37 | 20.23 | 19.66 | 14.58 | 74.79 | *     | *      | 111.91 |
| B5-80   | * | * | * | 33.16 | 32.66 | 27.61 | *     | *     | *     | *     | 13.52 | 18.49  | 26.08  |
| B6-80   | * | * | * | 23.22 | 23.59 | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *      | 107.46 |
| B7-80   | * | * | * | 34.32 | 28.65 | 34.66 | 28.61 | *     | 3.57  | 48.5  | 72.45 | 93.63  | *      |
| B8-80   | * | * | * | 16.01 | 17.6  | *     | *     | *     | *     | 27.25 | 62.48 | 87.57  | *      |
| B9-80   | * | * | * | 37.07 | 36.84 | *     | *     | *     | *     | *     | 68.63 | *      | *      |
| B10-80  | * | * | * | 33.86 | 30.83 | 28.18 | 27.17 | 25.43 | 20.88 | 56.21 | *     | *      | 102.41 |
| B11-80  | * | * | * | 36.03 | 54.14 | 43.39 | *     | *     | *     | *     | *     | *      | 112.82 |
| B12-80  | * | * | * | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *     | *      | *      |
| MED FI  | * | * | * | 21.07 | 22.75 | 20.39 | 18.13 | 16.33 | 15.91 | 44.15 | 25.48 | 68.99  | *      |
| MED FIO | * | * | * | 26.54 | 35.87 | 35.78 | 27.89 | 25.43 | 12.22 | 41.73 | 67.46 | 100.19 | *      |

|         |   |   |   |       |       |       |       |       |   |       |       |       |   |
|---------|---|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|---|
| B1-105  | * | * | * | 8.83  | 8.89  | 12.73 | 9.05  | 10.21 | * | 5.34  | 10.21 | *     | * |
| B2-105  | * | * | * | 10.07 | 10.58 | 10.85 | *     | *     | * | *     | *     | *     | * |
| B3-105  | * | * | * | *     | *     | *     | *     | *     | * | *     | 19.56 | *     | * |
| B4-105  | * | * | * | *     | *     | 13.48 | 8.6   | 8.67  | * | *     | 37.56 | *     | * |
| B5-105  | * | * | * | 42.75 | 44.87 | 41.33 | *     | 40.68 | * | 19.82 | 24.39 | 31.28 | * |
| B6-105  | * | * | * | 34.79 | 31.97 | 27.23 | 23.05 | 19.55 | * | 12.67 | 10.41 | 23.37 | * |
| B7-105  | * | * | * | 22.8  | 26.08 | 26.59 | 20.83 | 19.3  | * | 37.72 | 44.81 | 49.69 | * |
| B8-105  | * | * | * | 37.75 | 39.15 | 34.51 | 31.45 | 29.55 | * | *     | 25.09 | 41.2  | * |
| B9-105  | * | * | * | 18.05 | 21.65 | 25.32 | 22.23 | 22.14 | * | 12.92 | 26.57 | 35.87 | * |
| B10-105 | * | * | * | *     | 41.2  | 33.54 | 27.25 | 26.91 | * | 17.68 | 19.56 | 26.81 | * |
| B11-105 | * | * | * | 18.32 | 18.17 | 14.61 | *     | 14.69 | * | 12.83 | 26.57 | 30.22 | * |
| B12-105 | * | * | * | 22.34 | 24.97 | 23.48 | *     | 31.09 | * | 13.48 | 24.39 | 27.59 | * |
| MED FI  | * | * | * | 25.79 | 26.88 | 26.09 | 15.82 | 24.67 | * | 12.58 | 23.88 | 27.32 | * |
| MED FIO | * | * | * | 27.9  | 29.68 | 24.56 | 26.14 | 22.89 | * | 15.25 | 32.18 | 38.25 | * |

LEGENDE MED FI signifie valeur médiane pour la fertilisation inorganique seule.  
MED FIO signifie valeur médiane pour la fertilisation inorganique et organique.  
Le symbole \* signifie qu'il n'y a pas eu d'échantillonnage.

## ANNEXE A.1.7

EAU DU SITE 1 DE ST-AUGUSTIN

[ NH4+ ] EN mg/L

PROFONDEURS: 50 CM, 90 CM ET 150 CM

| ECHANT  | DATE     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|         | 26/06/91 | 09/07/91 | 23/07/91 | 06/08/91 | 20/08/91 | 04/09/91 | 17/09/91 | 01/10/91 | 16/10/91 | 29/10/91 | 12/11/91 |
| 1-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| 2-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| 3-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| 4-50    | *        | *        | *        | *        | 0.02     | *        | *        | *        | *        | 24.56    | 18.88    |
| 5-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| 6-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 24.56    | 42.4     |
| 7-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| 8-50    | 0.02     | 0.03     | *        | *        | 0        | 0.02     | *        | 0        | 0        | 8.77     | 28.96    |
| 9-50    | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.01     | 0.01     | 11.64    | *        |
| 10-50   | *        | *        | *        | *        | 0.01     | 0.01     | 0.02     | 0        | 0        | 5.9      | 9.63     |
| 11-50   | *        | *        | *        | *        | *        | 0.03     | 0.02     | 0        | 0        | 17.38    | *        |
| 12-50   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.03     | 0.01     | 34.61    | 34       |
| MED FI  | *        | *        | *        | *        | 0.01     | 0.02     | 0.02     | 0.01     | 0.033    | 20.25    | 21.81    |
| MED FIO | 0.02     | 0.03     | *        | *        | 0.01     | 0.02     | *        | 0.05     | 0.05     | 16.66    | 30.64    |

|         |       |      |      |   |      |       |       |      |   |       |       |
|---------|-------|------|------|---|------|-------|-------|------|---|-------|-------|
| 1-100   | *     | 0    | *    | 0 | 0    | 0     | *     | 0    | * | 4.46  | 91.98 |
| 2-100   | *     | *    | *    | * | *    | *     | *     | *    | * | 8.77  | *     |
| 3-100   | *     | *    | *    | * | *    | *     | *     | *    | 0 | 5.9   | *     |
| 4-100   | *     | *    | *    | * | *    | *     | *     | *    | * | 4.46  | *     |
| 5-100   | *     | *    | *    | * | *    | *     | *     | *    | * | 11.64 | *     |
| 6-100   | *     | *    | *    | * | *    | *     | *     | *    | 0 | 13.08 | *     |
| 7-100   | 0     | 0.01 | 0.01 | * | 0    | 0     | 0.01  | 0.01 | 0 | 3.03  | 12.15 |
| 8-100   | 0.02  | *    | *    | * | 0.02 | 0.01  | 0.02  | *    | 0 | 14.51 | *     |
| 9-100   | *     | *    | *    | * | *    | *     | *     | *    | 0 | 5.9   | *     |
| 10-100  | 0.1   | 0.02 | 0.01 | 0 | 0.04 | 0.01  | 0.01  | *    | * | 18.82 | 8.79  |
| 11-100  | 0     | *    | 0.01 | 0 | 0.05 | *     | 0.01  | 0    | 0 | 4.46  | 12.99 |
| 12-100  | 0     | *    | *    | * | 0    | 0     | *     | 0    | 0 | 3.03  | 10.47 |
| MED FI  | 0.033 | 0.01 | 0.01 | 0 | 0.03 | 0.003 | 0.01  | 0    | 0 | 10.92 | 50.38 |
| MED FIO | 0.01  | 0.01 | 0.01 | 0 | 0.01 | 0.005 | 0.015 | 0.01 | 0 | 8.77  | 12.15 |

|         |       |       |       |   |   |       |        |       |   |       |       |
|---------|-------|-------|-------|---|---|-------|--------|-------|---|-------|-------|
| 4-150   | *     | 0.01  | 0     | 0 | 0 | 0     | *      | 0     | 0 | 31.74 | 12.15 |
| 5-150   | 0.02  | 0.02  | 0.01  | 0 | 0 | 0.01  | 0.02   | 0.02  | 0 | 15.95 | 31.48 |
| 6-150   | 0.04  | *     | *     | * | 0 | *     | *      | 0     | 0 | 3.03  | *     |
| 7-150   | 0     | 0.02  | 0     | 0 | 0 | 0     | 0.01   | 0     | 0 | 54.72 | 15.51 |
| 8-150   | 0     | 0.01  | 0     | 0 | 0 | 0     | 0.01   | 0     | * | 3.03  | 7.11  |
| 9-150   | 0.01  | 0.01  | 0     | 0 | 0 | 0     | 0.01   | 0     | * | 3.03  | 10.47 |
| MED FIO | 0.014 | 0.014 | 0.002 | 0 | 0 | 0.002 | 0.0125 | 0.003 | 0 | 28.87 | 19.29 |

LEGENDE: MED FI signifie valeur médiane pour la fertilisation inorganique seule.

MED FIO signifie valeur médiane pour la fertilisation inorganique et organique.

Le symbole \* signifie qu'il n'y a pas eu d'échantillonnage.

## ANNEXE A.1.8

## EAU DU SITE 2 DE ST-AUGUSTIN

[ NH4+ ] EN mg/L

PROFONDEURS: 30 CM, 55 CM, 80 CM ET 105 CM.

| ECHANT  | DATE     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |   |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|
|         | 26/06/91 | 09/07/91 | 23/07/91 | 06/08/91 | 20/08/91 | 04/09/91 | 17/09/91 | 01/10/91 | 16/10/91 | 29/10/91 | 12/11/91 |   |
| B1-30   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.03     | 0.02     | 0        | 8.77     | * |
| B2-30   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | * |
| B3-30   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.08     | 0        | 8.77     | *        |   |
| B4-30   | *        | *        | *        | *        | 0.09     | 0.04     | 0.06     | 0        | 0        | 5.9      | 25.6     |   |
| B5-30   | *        | *        | 0.04     | *        | *        | 0.02     | 0.08     | 0.09     | 0.01     | 11.64    | *        |   |
| B6-30   | *        | *        | *        | *        | *        | 0.03     | 0.02     | 0        | 0        | 8.77     | 25.6     |   |
| B7-30   | *        | *        | *        | *        | 0.07     | 0.02     | 0.02     | 0        | 0        | 8.77     | *        |   |
| B8-30   | *        | *        | 0.03     | *        | 0        | 0        | 0.02     | 0.01     | 0        | 14.51    | 7.95     |   |
| B9-30   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.07     | 0        | 0        | 11.64    | *        |   |
| B10-30  | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |   |
| B11-30  | *        | *        | *        | 0.08     | *        | 0.09     | *        | 0.13     | 0.01     | 21.69    | *        |   |
| B12-30  | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0        | 0        | 8.77     | *        |   |
| MED FI  | *        | *        | *        | 0.08     | *        | 0.03     | 0.03     | 0.075    | 0.001    | 8.77     | 25.6     |   |
| MED FIO | *        | *        | 0.035    | *        | 0.005    | 0.02     | 0.05     | 0.045    | 0.001    | 15.23    | 7.95     |   |
| B1-55   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 328.95   |   |
| B2-55   | *        | *        | 0.09     | *        | *        | *        | *        | 0        | 0        | 7.33     | 25.6     |   |
| B3-55   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0        | 7.33     | *        |   |
| B4-55   | *        | *        | *        | *        | 0.04     | 0.02     | 0.06     | 0.02     | 0        | 5.9      | 8.79     |   |
| B5-55   | *        | *        | 0.03     | *        | *        | *        | *        | 0.03     | 0        | 10.2     | 15.51    |   |
| B6-55   | *        | *        | 0.07     | *        | *        | *        | *        | 0.19     | 0        | 11.64    | 18.03    |   |
| B7-55   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.02     | *        | *        | *        |   |
| B8-55   | *        | *        | 0.02     | *        | 0.11     | 0.2      | *        | 0.07     | 0.01     | 11.64    | 11.31    |   |
| B9-55   | *        | *        | 0.02     | *        | *        | *        | *        | *        | 0        | 7.33     | 26.44    |   |
| B10-55  | *        | *        | 0.01     | *        | 0        | 0        | 0.03     | 0.01     | 0        | 7.33     | 12.99    |   |
| B11-55  | *        | *        | 0.04     | 0        | 0        | *        | *        | *        | 0.03     | 109.28   | 50.81    |   |
| B12-55  | *        | *        | 0.04     | 0.01     | *        | *        | *        | *        | 0.01     | 38.92    | *        |   |
| MED FI  | *        | *        | 0.05     | 0.01     | 0        | *        | 0.003    | 0.005    | 0.015    |          |          |   |
| MED FIO | *        | *        | 0.045    | *        | 0.075    | 0.02     | 0.006    | 0.105    | 0.01     | 8.77     | 168.87   |   |
| B1-80   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |   |
| B2-80   | *        | *        | 0.01     | *        | 0        | 0.01     | 0.04     | 0        | 0        | 11.64    | 22.24    |   |
| B3-80   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 13.08    | *        |   |
| B4-80   | *        | *        | *        | *        | 0.01     | 0.02     | 0.02     | 0.01     | 0        | 4.46     | 23.92    |   |
| B5-80   | *        | *        | 0.01     | *        | *        | *        | *        | *        | 0.01     | 18.82    | 35.68    |   |
| B6-80   | *        | *        | 0.02     | 0        | *        | *        | *        | *        | *        | 4.46     | 34       |   |
| B7-80   | *        | *        | 0.03     | *        | 0.02     | 0        | *        | 0.01     | 0        | 8.77     | 16.35    |   |
| B8-80   | *        | *        | 0.01     | 0        | *        | *        | *        | 0.07     | 0        | 4.46     | 8.79     |   |
| B9-80   | *        | *        | 0.02     | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 10.2     | *        |   |
| B10-80  | *        | *        | 0.02     | 0        | 0        | 0.02     | 0.02     | 0        | 0        | 4.46     | 20.56    |   |
| B11-80  | *        | *        | 0.03     | 0.02     | 0.02     | *        | *        | *        | *        | 14.51    | 16.35    |   |
| B12-80  | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |   |
| MED FI  | *        | *        | 0.02     | 0.01     | 0.01     | 0.015    | 0.03     | 0        | 0        | 11.64    | 28.96    |   |
| MED FIO | *        | *        | 0.02     | 0.005    | 0.005    | 0.01     | 0.02     | 0.04     | 0.01     | 9.48     | 14.67    |   |
| B1-105  | *        | *        | 0        | 0        | *        | 0.01     | 0.03     | 0        | 0        | 14.82    | *        |   |
| B2-105  | *        | *        | 0.04     | 0        | 0        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |   |
| B3-105  | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 23.36    | *        |   |
| B4-105  | *        | *        | *        | *        | 0.01     | 0.03     | 0.06     | *        | *        | 13.12    | *        |   |
| B5-105  | *        | *        | 0.05     | 0        | 0        | *        | 0.03     | *        | 0        | 7.99     | 7.95     |   |
| B6-105  | *        | *        | 0.02     | 0        | 0        | 0.01     | *        | 0        | 0        | 11.41    | 21.4     |   |
| B7-105  | *        | *        | 0.02     | 0        | 0        | 0.01     | 0.02     | 0        | 0        | 6.29     | 8.79     |   |
| B8-105  | *        | *        | 0.02     | 0        | 0.02     | 0.01     | *        | *        | *        | 18.24    | 14.67    |   |
| B9-105  | *        | *        | 0.02     | 0        | 0        | 0.02     | *        | *        | 0        | 7.99     | 10.47    |   |
| B10-105 | *        | *        | *        | 0        | 0        | 0.01     | 0.02     | *        | 0        | 9.7      | 10.47    |   |
| B11-105 | *        | *        | 0.04     | 0        | 0        | *        | 0.03     | 0.01     | 0        | 7.99     | 5.43     |   |
| B12-105 | *        | *        | 0.02     | 0        | 0.02     | *        | 0.05     | *        | 0        | 42.14    | 8.79     |   |
| MED FI  | *        | *        | 0.03     | 0        | 0.01     | 0.01     | 0.035    | 0.005    | 0        | 15.67    | 14.67    |   |
| MED FIO | *        | *        | 0.035    | 0        | 0.05     | 0.02     | 0.04     | 0        | 0        | 13.11    | 11.73    |   |

LEGENDE: MED FI signifie valeur médiane pour la fertilisation inorganique seule.

MED FIO signifie valeur médiane pour la fertilisation inorganique et organique.

Le symbole \* signifie qu'il n'y a pas eu d'échantillonnage.

## ANNEXE A.1.8

EAU DU SITE 2 DE ST-AUGUSTIN

[ NH4+ ] EN mg/L

PROFONDEURS: 30 CM, 55 CM, 80 CM ET 105 CM.

| ECHAN   | DATE     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|         | 26/06/91 | 09/07/91 | 23/07/91 | 06/08/91 | 20/08/91 | 04/09/91 | 17/09/91 | 01/10/91 | 16/10/91 | 29/10/91 | 12/11/91 |
| B1-30   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.03     | 0.02     | 0        | 0.009    | *        |
| B2-30   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| B3-30   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.08     | 0        | 0.009    | *        |
| B4-30   | *        | *        | *        | *        | 0.09     | 0.04     | 0.06     | 0        | 0        | 0.006    | 0.026    |
| B5-30   | *        | *        | 0.04     | *        | *        | 0.02     | 0.08     | 0.09     | 0.01     | 0.012    | *        |
| B6-30   | *        | *        | *        | *        | *        | 0.03     | 0.02     | 0        | 0        | 0.009    | 0.026    |
| B7-30   | *        | *        | *        | *        | 0.07     | 0.02     | 0.02     | 0        | 0        | 0.009    | *        |
| B8-30   | *        | *        | 0.03     | *        | 0        | 0        | 0.02     | 0.01     | 0        | 0.014    | 0.008    |
| B9-30   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.07     | 0        | 0        | 0.012    | *        |
| B10-30  | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| B11-30  | *        | *        | *        | 0.08     | *        | 0.09     | *        | 0.13     | 0.01     | 0.022    | *        |
| B12-30  | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0        | 0        | 0.009    | *        |
| MED FI  | *        | *        | *        | 0.08     | *        | 0.03     | 0.03     | 0.075    | 0.001    | 0.009    | 0.026    |
| MED FIO | *        | *        | 0.035    | *        | 0.005    | 0.02     | 0.05     | 0.045    | 0.001    | 0.015    | 0.008    |
| B1-55   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.3      |
| B2-55   | *        | *        | 0.09     | *        | *        | *        | *        | 0        | 0        | 0.007    | 0.026    |
| B3-55   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0        | 0.007    | *        |
| B4-55   | *        | *        | *        | *        | 0.04     | 0.02     | 0.06     | 0.02     | 0        | 0.006    | 0.009    |
| B5-55   | *        | *        | 0.03     | *        | *        | *        | *        | 0.03     | 0        | 0.01     | 0.015    |
| B6-55   | *        | *        | 0.07     | *        | *        | *        | *        | 0.19     | 0        | 0.012    | 0.018    |
| B7-55   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.02     | *        | *        | *        |
| B8-55   | *        | *        | 0.02     | *        | 0.11     | 0.2      | *        | 0.07     | 0.01     | 0.012    | 0.011    |
| B9-55   | *        | *        | 0.02     | *        | *        | *        | *        | *        | 0        | 0.007    | 0.026    |
| B10-55  | *        | *        | 0.01     | *        | 0        | 0        | 0.03     | 0.01     | 0        | 0.007    | 0.013    |
| B11-55  | *        | *        | 0.04     | 0        | 0        | *        | *        | *        | 0.03     | 0.11     | 0.05     |
| B12-55  | *        | *        | 0.04     | 0.01     | *        | *        | *        | *        | 0.01     | 0.039    | *        |
| MED FI  | *        | *        | 0.05     | 0.01     | 0        | *        | 0.003    | 0.005    | 0.015    |          |          |
| MED FIO | *        | *        | 0.045    | *        | 0.075    | 0.02     | 0.006    | 0.105    | 0.01     | 0.009    | 0.17     |
| B1-80   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| B2-80   | *        | *        | 0.01     | *        | 0        | 0.01     | 0.04     | 0        | 0        | 0.012    | 0.022    |
| B3-80   | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.013    | *        |
| B4-80   | *        | *        | *        | *        | 0.01     | 0.02     | 0.02     | 0.01     | 0        | 0.004    | 0.024    |
| B5-80   | *        | *        | 0.01     | *        | *        | *        | *        | *        | 0.01     | 0.019    | 0.036    |
| B6-80   | *        | *        | 0.02     | 0        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.004    | 0.034    |
| B7-80   | *        | *        | 0.03     | *        | 0.02     | 0        | *        | 0.01     | 0        | 0.009    | 0.016    |
| B8-80   | *        | *        | 0.01     | 0        | *        | *        | *        | 0.07     | 0        | 0.004    | 0.009    |
| B9-80   | *        | *        | 0.02     | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.001    | *        |
| B10-80  | *        | *        | 0.02     | 0        | 0        | 0.02     | 0.02     | 0        | 0        | 0.004    | 0.021    |
| B11-80  | *        | *        | 0.03     | 0.02     | 0.02     | *        | *        | *        | *        | 0.14     | 0.16     |
| B12-80  | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| MED FI  | *        | *        | 0.02     | 0.01     | 0.01     | 0.015    | 0.03     | 0        | 0        | 0.012    | 0.029    |
| MED FIO | *        | *        | 0.02     | 0.005    | 0.005    | 0.01     | 0.02     | 0.04     | 0.01     | 0.009    | 0.015    |
| B1-105  | *        | *        | 0        | 0        | *        | 0.01     | 0.03     | 0        | 0        | 0.015    | *        |
| B2-105  | *        | *        | 0.04     | 0        | 0        | *        | *        | *        | *        | *        | *        |
| B3-105  | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | *        | 0.023    | *        |
| B4-105  | *        | *        | *        | *        | 0.01     | 0.03     | 0.06     | *        | *        | 0.013    | *        |
| B5-105  | *        | *        | 0.05     | 0        | 0        | *        | 0.03     | *        | 0        | 0.008    | 0.008    |
| B6-105  | *        | *        | 0.02     | 0        | 0        | 0.01     | *        | 0        | 0        | 0.011    | 0.021    |
| B7-105  | *        | *        | 0.02     | 0        | 0        | 0.01     | 0.02     | 0        | 0        | 0.006    | 0.009    |
| B8-105  | *        | *        | 0.02     | 0        | 0.02     | 0.01     | *        | *        | *        | 0.018    | 0.015    |
| B9-105  | *        | *        | 0.02     | 0        | 0        | 0.02     | *        | *        | 0        | 0.008    | 0.01     |
| B10-105 | *        | *        | *        | 0        | 0        | 0.01     | 0.02     | *        | 0        | 0.01     | 0.01     |
| B11-105 | *        | *        | 0.04     | 0        | 0        | *        | 0.03     | 0.01     | 0        | 0.08     | 0.05     |
| B12-105 | *        | *        | 0.02     | 0        | 0.02     | *        | 0.05     | *        | 0        | 0.042    | 0.08     |
| MED FI  | *        | *        | 0.03     | 0        | 0.01     | 0.01     | 0.035    | 0.005    | 0        | 0.016    | 0.015    |
| MED FIO | *        | *        | 0.035    | 0        | 0.05     | 0.02     | 0.04     | 0        | 0        | 0.013    | 0.012    |

LEGENDE: MED FI signifie valeur médiane pour la fertilisation inorganique seule.

MED FIO signifie valeur médiane pour la fertilisation inorganique et organique.

Le symbole \* signifie qu'il n'y a pas eu d'échantillonnage.